



2do CONGRESO sobre MEDIOS  
DE TRANSPORTE y sus  
TECNOLOGÍAS ASOCIADAS

Realizado los días 11, 12 y 13 de setiembre de 2019

Organizado por la Facultad Regional General  
Pacheco y por el Centro de Investigación, Desarrollo  
e Innovación Vehicular





## 2do CONGRESO sobre MEDIOS DE TRANSPORTE y sus TECNOLOGÍAS ASOCIADAS

Perez Arrieu, Juan

2do Congreso sobre Medios de Transporte y sus Tecnologías Asociadas / Juan Perez Arrieu ; Miguel Guagliano ; Juan Pablo Dri. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : edUTecNe, 2019.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: online

ISBN 978-987-4998-39-2

1. Transporte. 2. Tecnología. I. Guagliano, Miguel. II. Dri, Juan Pablo. III. Título.  
CDD 629.04



**Universidad Tecnológica Nacional – República Argentina**

**Rector:** Ing. Hector Eduardo Aiassa

**Vicerrector:** Ing. Haroldo Avetta

**Secretaría Académica:** Ing. Liliana Raquel Cuenca Pletsch

**Secretaría de Ciencia, Tecnología Y Posgrado:** Dr. Horacio Leone



**Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional General Pacheco**

**Decano:** Ing. José Luis García

**Vicedecano:** Ing. Ricardo H. Crivicich

**Secretario de Ciencia y Tecnología:** Dr. Adrián Marcelo Canzian

**Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación Vehicular (CIDIV)**

**Director:** Dr. Dino Otero

**Vicedirector:** Adrian Canzian

**Consejo Ejecutivo:** Ing. José Luis García, Dr. Adrian Canzian, Ing. Ricardo Bosco  
Dr. Dino Otero.



**edUTecNe – Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional**

**Coordinador General a cargo:** Fernando H. Cejas

**Área de edición y publicación en papel:** Carlos Busqued

**Colección Energías Renovables, Uso Racional de Energía, Ambiente:** Dr. Jaime Moragues.

Queda hecho el depósito que marca la Ley N° 11.723

© edUTecNe, 2018

Sarmiento 440, Piso 6 (C1041AAJ) Buenos Aires,

República Argentina

Publicado Argentina – Published in Argentina



Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin autorización previa y por escrito de los titulares del copyright. La infracción de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.

Presidente: Dr Francisco Aparicio Izquierdo (Universidad Politécnica de Madrid)

Ing. Ricardo Bosco (UTN FRGP)

Dr. Dino Otero (UTN FRGP)

Dr. Federico Dulciah (UTN FRGP)

Ing. Gustavo Cazzola (UTN FRGP)

Ing. Juan Fructuoso (UTN FRGP)

Ing. Rubén Arias (UTN FRGP)

Dra. Noemí Brenta (UTN FRGP)

Lic. Eduardo Sellés (UTN FRGP)

Ing. José Santelli (UTN FRGP)

Ing. Mario Jimena (UTN FRGP)

Ing. Juan Pablo Dri (UTN FRGP)

Ing. Horacio M. Mirasou (UTN FRGP)

Ing. Hugo Carranza (UTN FRGP)

Ing. Juan Dusau (UTN FRGP)

Ing. Otto Nolter (UTN FRGP)

Ing. Eduardo Donet (UTN FRSF)

Ing. Fernando Imaz (UTN FRSF)

Ing. Iván Sorba (UTN FRSF)

Ing. Víctor Caballini (UTN FRH)

Ing. Federico Larco (UTN FRH)

Ing. Maximiliano Zanin (UTN FRH)

Dr. Javier Fava (UTN FRH)

Dr. Carlos Lasorsa (UTN FRH)

Dr. Raul Versaci (UTN FRH)

Contralmirante VGM Lic. Francisco Galia

Capitán de Ultramar Guillermo Campos

Capitán de Navío Lic. Horacio Terribile (UNDEF)

Capitán de Navío Edmundo Vives (UTN FR Río Grande)

Dr. Diego Aligia (Universidad Nacional de Río Cuarto)

Ing. Fabián Pons (Presidente de OVILAM)

Presidente : Ing. José Luis García (UTN FRGP)

Dr. Adrian Canzian (UTN FRGP)

Ing. Walter Rodriguez Esquivel (UTN FRGP)

Ing. Carlos Eduardo Requena (UTN FRGP)

Ing. Otto Nölter (UTN FRGP)

Ing. Juan Carlos Perez Arrieu (UTN FRGP)

Lic. Amadio Ariel Alejandro (UTN FRGP)

Sr. Leandro Robles Dávila (UTN FRGP)

Ing. Fernando López (UTN FRGP)

Arq. Sofía Bosco (UTN FRGP)

Lic. Ivana Jael Lopez Barreto (UTN FRGP)

Editores

Adrian Canzian y Dino Otero

Compaginación

Ariel Amadio

Octubre 2019

## PROLOGO

Continuando con la excelente experiencia del 1er Congreso de Medios de Transporte y sus Tecnologías Asociadas realizado en la Facultad Regional Haedo, se realizó este Segundo Congreso. Se presentaron trabajos de gran calidad, ponencias, conferencias y un panel. Los trabajos fueron evaluados por profesionales del Comité Científico. La labor de los evaluadores fue impecable. Las ponencias, conferencias y el panel fueron invitados y cumplieron en exceso las expectativas puestas en ellas. Participaron del Congreso más de setenta profesionales en los dos días y medio que duró. A continuación se presenta el material expuesto durante su realización.



# Indice

## Trabajos

### Electromovilidad

La vigilancia Tecnológica como insumo para el diseño de escenarios prospectivos en el sector de vehículos eléctricos.....	9
La transición a la electromovilidad, ¿una oportunidad para el desarrollo de la cadena automotriz en la Argentina?.....	17
Vehículo eléctrico (V.E.) huella de Carbono, Interferencia Electromagnética (EMI) y reciclabilidad.....	27
Situación de la movilidad eléctrica en Argentina.....	37
Impacto Económico y Social de la Electromovilidad.....	44
Industria Autopartista, frente al reto del Vehículo Eléctrico.....	49

### Ferrocarriles

Evaluación de la Velocidad de Crecimiento de Fisura por Fatiga en Aceros para Rieles Ferroviarios.....	61
Determinación del momento de balanceo a partir de la medición del campo de presiones .....	68
Resistencias al avance de un tren.....	76

### Embarcaciones

Mejoras en el diseño de anclas de barcos areneros que navegan en el Río Paraná.....	85
Mejoras en el diseño de bombas centrífugas de refochado de barcos areneros.....	93

### Aviación

Cálculo de capacidad de pista, Método analítico.....	102
Calibración de balanza de seis grados de libertad para la medición de cargas aerodinámicas en túnel de viento.....	110

### Accidentología

Investigación sobre mal uso de banquetas en General Paz, CABA, Buenos Aires, Argentina.....	119
Flexión elástico-plástica de tubos de sección circular utilizados en estructuras de protección contra vuelco de vehículos.....	125

### Materiales

Propiedades Tribológicas de Compuestos de Matriz Epoxi y Disulfuro de Molibdeno. I. Comportamiento en Fricción.....	132
Modelos Predictivos del Comportamiento a la Fractura de Materiales Compuestos Híbridos Tipo CARALL .....	140

### Transito Vehicular

Análisis de la implementación de dispositivos de regulación de tránsito en ámbitos urbanos de la ciudad de Santa Fe .....	149
El Túnel .....	157
Patrones de comportamiento de conductores en accidentes de tráfico en España. Periodo 2004-2013.....	164
Modelado de emisiones de partículas de autobuses urbanos.....	172

### Vehículos Pesados

Estudio preliminar del comportamiento dinámico de un semirremolque cisterna ante perturbaciones impulsivas sobre sus ejes, en base a métodos numéricos .....	182
Análisis de la siniestralidad por alcance en vehículos pesados en la Provincia de Santa Fe en el período comprendido entre 2012 y 2016.....	190
Estudio de los factores que influyen en el rendimiento de frenado de los ejes de los vehículos remolcados y su relación con las exigencias reglamentarias. ....	197
Desarrollo de un simulador de bajo costo de conducción de camiones .....	205

## Ponencias

Boeing 737-204 C, LV-WRZ, Vuelo 3142 de LAPA S.A., accidentado el 31 de agosto de 1999, 20:54 Hs. local, Aeroparque Jorge Newbery, 65 fallecidos, 37 heridos, la larga cadena de factores intervinientes, y un accidente que nunca debió haber ocurrido. Análisis de un perito actuante.....	211
Proyecto de auto eléctrico en la Facultad Regional General Pacheco.....	221
Requisitos de seguridad, pesos y dimensiones para la homologación de vehículos de carga remolcados en Argentina. Gustavo Cazzola, Rubén Arias.....	236
La economía argentina y el escenario mundial.....	253

## Conferencias

Movilidad del futuro. Papel del Automovil.....	280
Soluciones Inteligentes para combatir la inseguridad Vial.....	352
Valor agregado en la cadena de producción de Litio.....	364
Actividades Principales y Características Generales de la Misión SAOCOM.....	413

## Panel

Transporte Marítimo Internacional. El Atlántico Sur y los intereses Marítimos Argentinos .....	432
--	-----



# Electromovilidad



# La vigilancia Tecnológica como insumo para el diseño de escenarios prospectivos en el sector de vehículos eléctricos

*Perez Arrieu, Juan<sup>a</sup>, Guagliano, Miguel<sup>b</sup>, Dri, Juan Pablo<sup>c\*</sup>*

<sup>a</sup> Universidad Tecnológica Nacional UTN-FRGP, Avda. Hipolito Yrigoyen 288, Gral. Pacheco 1617, Argentina

<sup>b</sup> Secretaría de Gobierno de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, Godoy Cruz 2320, CABA ciudad y 1000-1499, Argentina

<sup>c</sup> Universidad Tecnológica Nacional UTN-FRGP, Avda. Hipolito Yrigoyen 288, Gral. Pacheco 1617, Argentina

\* Perez Arrieu, Juan, jparrieu@docentes.frgp.utn.edu.ar

## ABSTRACT

In Europe, transport is responsible for 25% of the effects of greenhouse gases, that figure increases to 30% in the US. Therefore, the policies and regulations aimed at reducing CO2 emissions, together with a reduction in energy consumption, will generate important changes in vehicular and electrical transportation.

It is essential to work on new alternatives in internal combustion engines and the electrification of vehicles, if you want to be able to comply with the regulations.

In recent years worldwide, the research and technological advances of electric vehicles (EVs) has grown significantly. This has led to see how in the big cities of the world they are beginning to replace more and more internal combustion engines with electric vehicles, being considered these as the transport of the future.

On the other hand, the Technological Surveillance (VT) is a strategic tool, which allows to be alert to the changes that are generated in the environments, and thus be able to identify new opportunities and / or threats related to different aspects of interest for an organization. sector or country.

The VT complements very well with a discipline that seeks to propose future scenarios that can be achieved in a technological area, discipline, subject, sector, etc. This discipline is the Technological Prospective (PT), which needs inputs to imagine those scenarios, and these are provided by VT activities.

It is for this reason that in the present work the methodology and results of VT obtained from a review on the latest trends worldwide in the field of research and technological developments on EVs are exposed, with the aim that this work be an input for the design of prospective scenarios in the EVs sector.

*Keywords: Surveillance technology, Technological prospective, Foresight, Forecasting, Electric vehicles.*

## RESUMEN

En Europa, el transporte es el responsable del 25% de los efectos de los gases de invernadero, esa cifra aumenta al 30% en EEUU. Por ello, las políticas y normativas tendientes a la reducción de emisiones de CO2, junto con una mayor eficiencia y reducción del consumo de energía generarán cambios importantes en el transporte vehicular y eléctrico.

Resulta clave trabajar en nuevas alternativas en los motores de combustión interna y la electrificación de vehículos, si se desea poder cumplir con las normativas.

En los últimos años a nivel mundial, ha crecido notablemente la investigación y los avances tecnológicos de los vehículos eléctricos (EVs). Esto ha llevado a ver como en las grandes ciudades del mundo se están empezando a reemplazar cada vez más los motores de combustión interna por vehículos eléctricos, siendo considerado éstos como el transporte del futuro.

Por otra parte, la Vigilancia Tecnológica (VT) es una herramienta estratégica, que permite estar alerta a los cambios que se van generando en los entornos, y así poder identificar nuevas oportunidades y/o amenazas relacionadas con distintos aspectos de interés para una organización, sector o país.

La VT se complementa muy bien con una disciplina que busca plantear escenarios futuros que se pueden llegar a dar en un área tecnológica, disciplina, temática, sector, etc. Esta disciplina es la Prospectiva Tecnológica (PT), la cual necesita de insumos para imaginar esos escenarios, y estos son provistos primariamente por las actividades de VT.

Es por esto, que en el presente trabajo se expone la metodología y los resultados de VT obtenidos a partir de una revisión sobre las últimas tendencias a nivel mundial en materia de investigación y desarrollos tecnológicos, sobre EVs, con el objetivo, de que este trabajo sea un insumo para el diseño de escenarios prospectivos en el sector de EVs.

*Palabras Clave: Vigilancia Tecnológica, Prospectiva Tecnológica, Foresight, Forecasting, Vehículos eléctricos.*



## 1. Introducción

El presente trabajo se realizó en el marco de un proyecto de investigación y desarrollo (PID UTN Nro 4885) presentado por un equipo conformado por profesionales, investigadores y alumnos de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional General Pacheco (UTN FRGP). El nombre del proyecto fue “Escenarios energéticos posibles frente a diferentes hipótesis de uso del vehículo eléctrico en la Argentina”, donde el objetivo principal fue diseñar un escenario prospectivo que permita la identificación de tecnologías y del mercado emergente, la evaluación de proyectos y de escenarios, tendencias, con la integración de información de distinta naturaleza (científica, tecnológica, mercado, legislativa, normativa, competitiva), contando con la participación activa de expertos del grupo.

Las mejoras en los motores de combustión interna y la electrificación de vehículos resultarán claves para poder en el mediano plazo cumplir con las normativas que se vienen trabajando. Las regulaciones seguramente conllevarán a generar cambios importantes en el transporte vehicular y eléctrico.

Se espera que durante las próximas décadas coexistan distintos medios de propulsión: Combustión interna (VCI); combustión interna con downsizing; híbrida; eléctrica a baterías; eléctrica con extensor de autonomía, entre otras [1-5].

La movilidad eléctrica provee una solución importante para el transporte, la energía y la anhelada reducción cero de partículas contaminantes. Además, los vehículos eléctricos a batería (BEV) pueden desempeñar un importante rol en el futuro del sistema eléctrico junto con el empleo de las energías renovables (ER). A pesar del enorme esfuerzo realizado en investigación, y de la fuerte apuesta económica del sector automotriz, todavía existen barreras que impiden su empleo masivo, como ser:

1- El costo de la batería, en términos de \$/kWh, que resulta superior al 25% del valor total del vehículo, y por lo tanto, encarece enormemente el costo del mismo.

2- La capacidad de almacenamiento limitada que restringe la distancia recorrida, para la gran mayoría de los vehículos como por ejemplo, el VW egolf tiene un alcance de 300km, el Nissan leaf varía entre 199 km y 250 km y el Renault Kangoo ZE ofrece una autonomía de 270 km (el primer auto eléctrico en Argentina ya que fue homologado en 2016)

3- Falta de infraestructura para la carga de las baterías. YPF anunció la instalación de cerca de 220 postes de recarga en sus estaciones de servicio, con una inversión cercana a USD 13 millones.

Según estudios recientes [6-7], se espera que disminuya el precio de las baterías; en Europa se calcula que para el año 2035 el costo de las mismas podría oscilar entre 53 EUR/kWh y 127 EUR/kWh (casi un 90% menor al precio actual), de acuerdo a diferentes escenarios: revolucionario o lento, respectivamente. También se estima que el costo entre los autos eléctricos y los autos a combustión interna será similar cerca del año 2024. Si a lo anterior sumamos que los BEV tienen un menor mantenimiento, y que actualmente, en muchos países, existen alientos económicos (reducción de impuestos, peajes gratis, bonificaciones, etc), resulta promisorio el escenario revolucionario. Ahora bien, para entender la interacción entre los BEV y el sistema de distribución eléctrica debemos analizar cuándo y cómo se realizará la recarga de las baterías. En principio, se esperaría que la recarga se realice en el hogar y/o en el lugar de trabajo. Ello significa que la red de baja tensión domiciliaria, o bien, comercial estará afectada por la recarga de las baterías.

Desde el marco legal, en Argentina, todavía se está discutiendo una ley nacional de generación distribuida, si bien las provincias de Santa Fe; Mendoza; Misiones y recientemente Neuquén, ya disponen de una ley provincial. En todos los casos se habla de la generación de energía eléctrica (mayoritariamente fotovoltaica) pero no se ha tenido en cuenta la posibilidad de que en un futuro con los BEV se pueda inyectar energía a la red. Es decir, para optimizar y aprovechar al máximo la generación de renovable, es necesario almacenarla cuando se está produciendo, y devolverla a la red cuando se necesita. En este sentido los vehículos eléctricos podrían actuar de forma reversible, cargando las baterías cuando hay exceso de renovable e inyectándola a la red cuando esté ausente dicha generación.

Finalmente se pondera la incidencia y el impacto que el uso intensivo del BEV tendrá en el transporte, en particular la reducción de energía primaria por mejoras de eficiencia, uso de energías renovables y las consecuentes reducciones de producción de gases de efecto invernadero.

De acuerdo a lo anterior, en este trabajo se busca exponer los pasos metodológicos y los resultados que se obtuvieron del Estado del Arte realizado sobre las últimas tendencias en materia de investigaciones y desarrollos tecnológicos en el mundo sobre vehículos eléctricos. El mismo resultó ser el insumo para el diseño del árbol tecnológico del sector que estaba contemplado realizar dentro del marco del proyecto PID antes mencionado. A su vez, esto facilitó a través de la Vigilancia Tecnológica implementada, entender cuáles son las principales tendencias a nivel mundial sobre investigaciones y desarrollos tecnológicos en vehículos eléctricos, contribuyendo con un panorama mas claro de la situación, para la construcción de los escenarios posibles en el sector de estudio.

## 2. Marco Teórico



## 2.1. Vigilancia Tecnológica

La utilización de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) a nivel mundial, ha surgido y adquirido un rol central en los últimos años, dando lugar a la aparición de nuevas temáticas tales como la Vigilancia e Inteligencia [8].

La Vigilancia como la Inteligencia se la definen como “Un proceso ético y sistemático de recolección y análisis de información acerca del ambiente de negocios, de los competidores y de la propia organización, y comunicación de su significado e implicaciones destinada a la toma de decisiones” [9].

Hoy en día la vigilancia como la inteligencia han tomado un rol fundamental para cualquier persona u organización, permitiéndoles anticiparse a oportunidades y/o amenazas, y así tomar decisiones estratégicas más acertadas. Es así como en la actualidad se han convertido en dos herramientas estratégicas, donde la vigilancia estratégica involucra un proceso sistemático y organizado de búsqueda, recopilación y análisis de información relacionada a conocimientos científicos, tecnológicos, legislación, normativa, etc. La inteligencia por su parte, comprende además, un trabajo más detallado de análisis e interpretación de la información que la vigilancia recolectó [10].

La gestión de estas temáticas plantea el desafío de lograr anticiparse a las innovaciones tecnológicas, lo que obliga a las organizaciones a estar monitoreando permanentemente acerca de las limitaciones y las nuevas oportunidades que pueden coexistir en su entorno respecto de la evolución de la ciencia y la tecnología en términos globales y la dinámica del entorno que la acompaña.

Así, la Vigilancia Tecnológica es una herramienta que ayuda a comprender y explicar la evolución de la tecnología y permite a las instituciones y organizaciones anticiparse a los efectos negativos que sobre su actividad pueden tener, y aprovechar las oportunidades que se pueden llegar a presentar, ayudando a la identificación de los escenarios más probables y al estudio del impacto previsible sobre la actividad de la empresa, que dichas tecnologías emergentes pueden provocar.

## 2.2. Prospectiva Tecnológica

Gastón Berger, filósofo, industrial y hombre de negocios francés, acuñó a mediados del siglo pasado la palabra Prospectiva para nombrar la disciplina que estudia el futuro, comprenderlo y tratar de influir sobre él.

Etimológicamente el vocablo proviene del latín y significa mirar hacia el futuro. Frases como: “El futuro no se predice se construye” de Maurice Blondel, o “Es el arte de conducir la historia “ de André Beaufre, son proposiciones de estudiosos de las disciplinas llamadas de futuros que resumen la actitud sobre la forma en que se puede pensar el porvenir.

En particular la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), la define como “ Conjunto de tentativas sistemáticas para observar e integrar a largo plazo el futuro de la ciencia , la tecnología , la economía y la sociedad con el propósito de identificar las tecnologías emergentes que probablemente produzcan los mayores beneficios económicos y sociales“.

En síntesis, la prospectiva es una disciplina con visión global, compleja y dinámica que trata de crear y explicar los escenarios futuros muestra ¿qué puede ocurrir? a los decisores y planificadores, y está muy ligada a la estrategia y a la política que nos indica el camino para alcanzarlo.

Es necesario marcar que existen diferencias conceptuales y metodológicas entre distintas corrientes de estudios de futuros, los anglosajones se refieren más comúnmente a ella con el término de forecasting o foresight , donde el devenir es visto como una realidad lineal que proviene del pasado, se podrían en consecuencia extrapolar tendencias para construir un único escenario, el pasado explicaría el futuro, en cambio para la prospectiva no existe uno sino muchos futuros probables y entre ellos los posibles donde de la voluntad humana interviene para elegir un escenario al que denomina futurible [11], para ella el futuro es la razón de ser del presente.

Hoy se tiene conciencia al percibir la aceleración con que se producen los cambios, esa es una megatendencia , influidos por los medios de comunicación pasamos de un acontecimiento coyuntural a otro en forma tal que es muy difícil percibir los procesos latentes que los provocan bajo su superficie , es por ello trascendental anticiparse, para poder planificar para no ser meros espectadores , ya lo expresaba Alvin Tofler en 1970 en su famoso libro El Shock de Futuro: “ ... En un mundo en cambio acelerado el próximo año estará más cerca de nosotros de lo que estaba el próximo mes en una época más tranquila. ...a mayor velocidad es necesario estar atentos a todas las cosas que suceden más lejos”.

Actualmente los gobiernos, las empresas, las universidades y los organismos de C&T recurren a estudios y ejercicios de prospectiva para tomar decisiones y definir sus políticas y estrategias.

Un modelo básico recursivo de aplicación de la prospectiva, es el que partiendo del estudio del arte, determina las tecnologías del futuro, los factores de cambio, las variables estratégicas, los escenarios probables, y las estrategias y

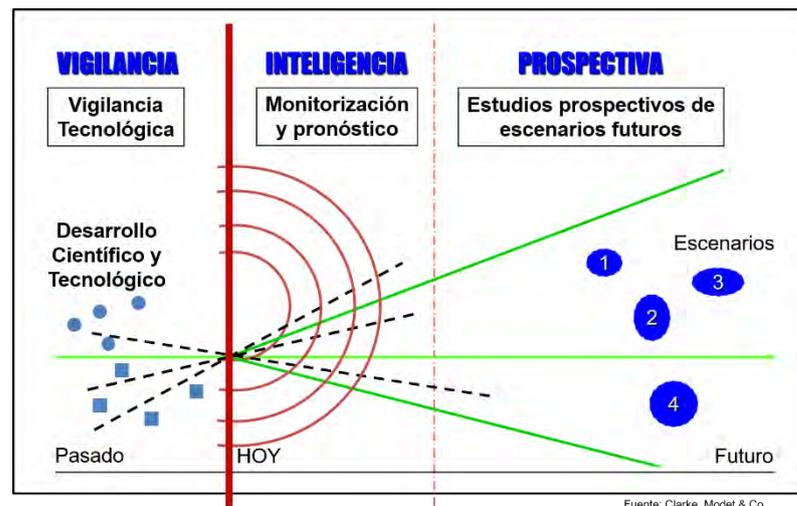


proyectos a construir [11].

Cuando nos referimos a un estudio Prospectivo en particular es común clasificarlo según su propósito, por ejemplo: Prospectiva en defensa, en seguridad, social, estratégica, etc., en la Prospectiva Tecnológica (PT) se pone énfasis en la construcción de escenarios a partir de una tecnología, así se habla de PT en las TICs, o PT de los Vehículos Eléctricos (EVs) como es el caso, aunque cualquiera sea su finalidad siempre estará presente como determinante de un escenario el factor tecnológico.

### 2.3. Relación entre la VT y la PT

La VT tiene un alcance menor a la PT, esta última se proyecta al largo plazo en el futuro, allí donde existe poca información y mucha incertidumbre, y por ende la opinión de los expertos para la construcción de escenarios es fundamental, no obstante, para el estudio del arte y la determinación de tendencias la VT es un insumo básico de la PT. En la figura 1 podemos ver la relación entre VT y Prospectiva.



**Figura 1 – Relación entre la VT y la PT adaptado de Clarke, Modet & Co, TEC 1000 2017, Estudios de Vigilancia y Prospectiva Tecnológica en el área de Defensa y Seguridad**

Mediante la VT se puede determinar aquellos acontecimientos científicos tecnológicos relevantes, portadores de futuro, y como ya se expresó en 2.1, ayudar a comprender y explicar la evolución de las tecnologías. A partir de los datos e información de VT, la PT analiza las tendencias o megatendencias (tendencias globales que abarcan gran parte del planeta), sociales, geopolíticas, militares, culturales, tecnológicas, de la sociedad del conocimiento (educación, Internet, TICs, C&T), etc., y construye escenarios “futuribles” mediante el arte de la conjetura aportado mayormente por expertos.

### 3. Metodología

El presente trabajo se inscribe en un diseño metodológico de características experimentales ya que se exploran las tecnologías relacionadas con los vehículos eléctricos en general.

La metodología utilizada en el presente trabajo se basa en el ciclo de la Vigilancia e Inteligencia propuesto por el ex Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MinCyT, 2015). En la Figura 2 se observa el ciclo de Vigilancia e Inteligencia.

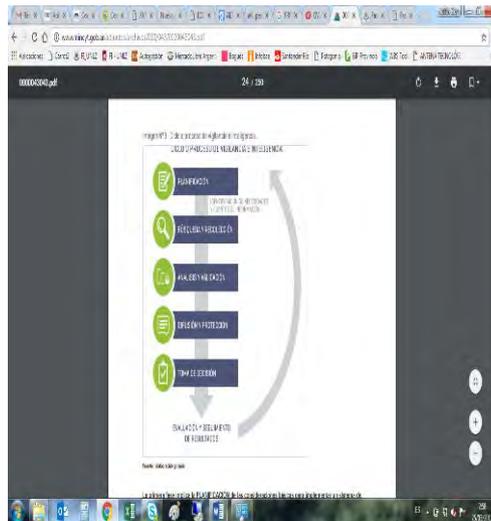


Figura 2 - Ciclo de la Vigilancia y la Inteligencia. Fuente: MinCyT.

En la instancia de **planificación** se definieron como necesidades de información conocer el estado del arte sobre las tecnologías relacionados con los vehículos eléctricos. Para esto se procedió a elaborar junto con profesores y especialistas en el rubro, un conjunto de palabras clave para realizar la búsqueda de información. Las palabras clave identificadas se muestran a continuación:

- Electric cars
- Electric vehicles / EVs
- Full Electric Vehicles / FEV
- Plug in hybrid electric vehicles / PHEVs
- Hybrid electric vehicles / HEVs
- Electric and hybrid vehicles / xEVs
- Photovoltaic vehicles / PV
- Vehículo eléctrico de batería / VEB / Battery electric vehicles / BEVs
- Vehículo eléctrico a celda de combustible / VECC / Fuel Cell Electric Vehicle / FCEV
- Mild Hybrid Electric Vehicle / MHEV
- Vehicle to Grid / V2G

Estas palabras clave y la búsqueda a partir de la misma, permitió poder identificar las principales cuestiones tecnológicas relacionadas con los vehículos eléctricos que pueden ser de interés vigilar en el proyecto de investigación.

Con respecto a las fuentes de información a utilizar para llevar a cabo las búsquedas, se han seleccionado las siguientes:

- 1- Metabuscadore (Carrot, Biznar)
- 2- Motor de búsqueda de patentes de invención (Patentinspiration)
- 3- Base de datos de publicaciones científicas (Scopus)

En la siguiente etapa, correspondiente a la **búsqueda y recolección** de información, se procedió a partir de las palabras clave identificadas en la fase anterior, a confeccionar las sentencias de búsqueda por medio de operadores booleanos, que se utilizaron en las distintas fuentes (Bases de datos) y herramientas (metabuscadore) mencionadas anteriormente.

A continuación, se muestra la ecuación de búsqueda elaborada que permitió poder realizar el estado del arte sobre el tema en cuestión:

#### **Ecuación de búsqueda de patentes de invención**

Title/abstract: (“Electric cars” or “Electric vehicles” or “EV” or “Full Electric Vehicles” or “FEV” or “Plug in hybrid electric vehicles” or “PHEV” or “Hybrid electric vehicles” or “HEV” or “Electric and hybrid vehicles” or “xEV” or “Photovoltaic vehicles” or “PV” or “Battery electric vehicles” or “BEV” or “Fuel Cell Electric Vehicle” or “FCEV” or “Mild Hybrid Electric Vehicle” or “MHEV” or “Vehicle to Grid”)

Resultados obtenidos: 44568 documentos de patentes (filtrado por solicitudes de patentes).

Periodo de búsqueda: 2013-2018



**Ecuación de búsqueda de publicaciones científicas**

TITLE-ABS-KEY ( ("Electric cars" OR "Electric vehicles" OR "EV" OR "Full Electric Vehicles" OR "FEV" OR "Plug in hybrid electric vehicles" OR "PHEV" OR "Hybrid electric vehicles" OR "HEV" OR "Electric and hybrid vehicles" OR "xEV" OR "Photovoltaic vehicles" OR "PV" OR "Battery electric vehicles" OR "BEV" OR "Fuel Cell Electric Vehicle" OR "FCEV" OR "Mild Hybrid Electric Vehicle" OR "MHEV" OR "Vehicle to Grid" ) ) AND ( LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD , "Electric Vehicles" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD , "Photovoltaic Cells" ) ) AND ( LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2018 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2017 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2016 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2015 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2014 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2013 ) )

Resultados obtenidos: 30844 publicaciones científicas.

Periodo de búsqueda: 2013-2018

Una vez recolectados los resultados de documentos de patentes y de publicaciones científicas, se procedió con el grupo de especialistas en el tema, a validar la calidad y pertinencia de la información.

Con los resultados validados se realizó la fase de **análisis y tratamiento** de la información, de manera de conocer e identificar las principales líneas de investigación y desarrollos tecnológicos que se están llevando a cabo a nivel mundial sobre el tema. En esta fase de generaron un conjunto de indicadores a partir de la información del campo científico y tecnológico. Los indicadores generados fueron:

Patentes de invención:

- Solicitantes líderes de patentes
- Evolución de patentabilidad por año
- Áreas tecnológicas principales de patentamiento
- Países líderes

Publicaciones científicas:

- Tendencias de investigaciones por año
- Instituciones de investigación principales
- Áreas de investigación principales
- Países líderes en investigación

A partir de todo lo generado en las fases anteriores, se compartió la información al resto del equipo participante en el proyecto de investigación, para que procedan a focalizar y decidir cuáles serían las principales tecnologías que muestran alguna tendencia importante a nivel mundial, y que pueden transformarse en oportunidades para trabajar e implementar a nivel nacional. A su vez, el resultado del estado del arte realizado con Vigilancia Tecnológica, permitió brindar un conjunto de insumos para el diseño de los escenarios prospectivos planteados en el objetivo general del proyecto.

**4. Algunas herramientas y resultados**

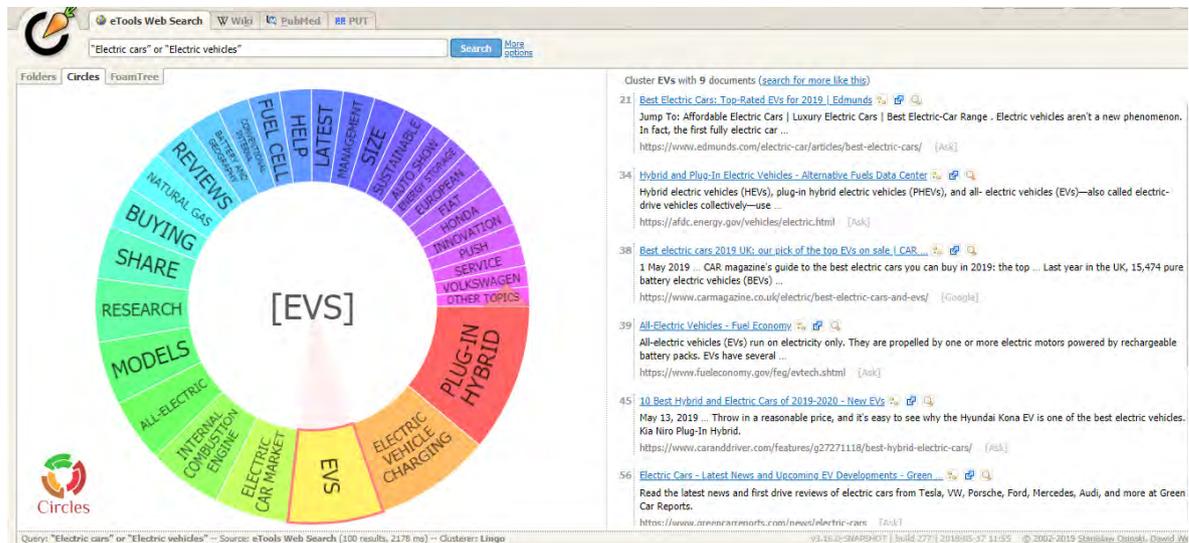
A continuación, en las figuras 3 y 4 se muestran distintos indicadores generados utilizando herramientas de análisis como por ejemplo WIPO – Patentscope, que tiene cobertura internacional administrada por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), que permite ver cómo ha evolucionado el desarrollo tecnológico de las tecnologías definidas de interés, en este caso referidas a cantidad de patentes y publicaciones encontradas, o Carrot un metabuscador con motores de búsqueda en internet, que permite obtener una primera aproximación sobre publicaciones:

Análisis									
United States	244.445	H01L	77.468	Shunpei Yamazaki	1.030	Semiconductor Energy Laboratory Co., Ltd.	5.049	2009	18.915
PCT	76.947	H01M	44.903	Yamazaki Shunpei	891	QUALCOMM Incorporated	4.812	2010	22.146
European Patent Office	53.514	A61K	39.069	Eby William H.	504	Hyundai Motor Company	4.441	2011	26.285
China	24.686	B60L	36.722	Wanshi Chen	408	TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA	3.934	2012	28.784
Canada	23.519	C12N	30.551	Peter Gaal	404	QUALCOMM INCORPORATED	3.844	2013	31.402
United Kingdom	18.054	H02J	26.526	Seo Satoshi	398	Monsanto Technology LLC	3.101	2014	34.045
Australia	17.665	G06F	22.274	Satoshi Seo	377	INTEL CORPORATION	2.834	2015	35.143
Japan	17.406	G01N	19.486	Tao Luo	357	Ford Global Technologies, LLC	2.598	2016	36.180
Republic of Korea	9.468	H04W	19.154	Forbes Leonard	317	Intel Corporation	2.272	2017	37.529
Germany	4.083	C07D	18.531	Paul Shala	285	Toyota Jidosha Kabushiki Kaisha	2.238	2018	34.918
Israel	2.312								

Figura 3 – Indicadores de patentes. Fuente: <https://patentscope.wipo.int/search/es/result.jsf>. De 08 junio 2019



Es de destacar que las patentes conforman el fondo documental tecnológico más completo del planeta y que mediante la informática, es posible el manejo ágil y preciso de la información es por ello que en un estudio de VT es imprescindible hacer foco en el análisis este tipo de documentos [12].



**Figura 4 – Búsqueda de artículos relacionados con EVs mediante el metabuscador Carrot, con resultados agrupados en círculo. Fuente: <http://search.carrot2.org> , el 08 junio 2019**

El análisis de los distintos indicadores generados para los documentos de patentes y publicaciones científicas encontrados, permitió avanzar en comprender e identificar las principales tendencias a nivel internacional, sobre investigaciones y desarrollos tecnológicos que se están llevando a cabo en relación a los vehículos eléctricos. Esto facilitó la elaboración de un árbol tecnológico para empezar a trabajar con la prospectiva tecnológica en los escenarios energéticos posibles frente a diferentes hipótesis de uso del vehículo eléctrico en la Argentina.

## 5. Conclusiones

El estudio de VT mediante la metodología expresada permitió:

- Poner a disposición una base de datos e información de las tendencias y previsiones de futuro de las tecnologías y disciplinas asociadas al desarrollo de los EVs en el marco mundial regional y nacional.
- Servir de apoyo al desarrollo de distintas líneas de investigación, desde las estrictamente tecnológicas como son el diseño y fabricación de EVs, la infraestructura energética necesaria, a otros aspectos de índole estratégico como son el litio y las tierras raras para la fabricación de baterías y motores, los económicos, la cadena de suministros y de valor, los legales en cuanto a normativa y seguridad, hasta los medio ambientales y a necesidad de invertir en formación de RRHH, entre otros .

Fundamentalmente la VT aporta a la toma de decisiones y a la planificación estratégica, seguir monitoreando el sector del transporte y sus tecnologías asociadas permitirán reducir la incertidumbre sobre qué hacer y hacia dónde ir.

Del estudio también surge que las tecnologías de transporte, siguen la tendencia de otros sectores , están incorporando tecnologías totalmente disruptivas como la internet de las cosas (IOT) y la Inteligencia Artificial (AI), pronto los vehículos autónomos tendrán sus propias rutas, se comunicaran entre si, serán parte de las ciudades inteligentes, movilidad compartida, conectividad y vehículo eléctrico ya están en los diseños de los escenarios futuros, tanto como hoy lo es la industria 4.0 para las automotrices .

## Agradecimientos

Este trabajo en parte se realizó con fondos del PID UTN 4885 y del Centro CIDIV.



## Referencias

- [1] Siglo XX: Siglo de la Energía Panorama Energético del Mundo, y de la Argentina. Actualidad y futuro. H.Carranza. Petrotecnia. IAPG. Agosto 2009,
- [2] El futuro de la energía eléctrica, la producción y el transporte de la energía eléctrica en el largo plazo. H. Carranza. Petrotecnia. IAPG. Julio 2011
- [3] La eficiencia energética en el transporte. Un megayacimiento posible. C. Trentadue, H. Carranza. Petrotecnia. IAPG. Octubre 2014.
- [4] El transporte eléctrico. Una mejora sustancial pensando en Carnot. Megayacimiento posible. C. Trentadue, H. Carranza. Petrotecnia. IAPG. Octubre 2014
- [5] El futuro del sector automotriz en el mundo, 2025: fuerzas impulsoras y tecnologías claves para su desarrollo en el marco de políticas que promuevan la calidad de vida, y la conservación del medio ambiente y de los recursos naturales. D. Sica; M. Scarlan, D. Rossini, J. Bleinstein, D. Figueroa. Ira ed Bs As: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, 2014. E-Book. ISSN 978-987-1632-15-2
- [6] Análisis Tecnológicos y Prospectivos Sectoriales. Sector Automotriz. Responsable: J. Cantarella. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. Febrero 2016.  
<http://www.mincyt.gov.ar/adjuntos/archivos/000/047/0000047534.pdf> (13-05-2017)
- [7] Smart Charging: Steering the charge, driving de change. A EURELECTRIC paper, March 2015.  
[http://www.eurelectric.org/media/169888/20032015\\_paper\\_on\\_smart\\_charging\\_of\\_electric\\_vehicles\\_finalpsf-2015-2301-0001-01-e.pdf](http://www.eurelectric.org/media/169888/20032015_paper_on_smart_charging_of_electric_vehicles_finalpsf-2015-2301-0001-01-e.pdf). (13-05-2017)
- [8] Escorsa Castells Pere. and Maspons Ramon., “De la Vigilancia Tecnológica a la Inteligencia Competitiva”, España, FT-Prentice Hall, Pearson, (2001).
- [9] Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR., “Gestión de la I+D+i: Sistema de vigilancia e inteligencia”, Norma UNE 166006. Madrid, España, (2018).
- [10] Instituto Argentino de Normalización y Certificación IRAM., “Gestión de la innovación: Sistema de vigilancia e inteligencia estratégica”, Norma IRAM 55520. Buenos Aires, Argentina, (2017).
- [11] Francisco Jose Mujica; Francisco L. Segrera , “ ¿Hacia dónde va el Mundo? , Prospectiva , megatendencias y escenarios latinoamericanos , España Ed Int Cultura/ El viejo Topo , 2015.
- [12] MINCYT, Guía Nacional de Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Estratégica buenas prácticas para generar sistemas territoriales de gestión de VeIE, 2015 , Argentina .



# La transición a la electromovilidad, ¿una oportunidad para el desarrollo de la cadena automotriz en la Argentina?

*Federico Dulcich<sup>a\*</sup>*

<sup>a</sup> Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Gral. Pacheco, Av. Hipólito Yrigoyen 288, General Pacheco, 1617, Argentina

\*Dirección de correo electrónico: federicomd2001@gmail.com

## ABSTRACT

*This paper explores the evolution of the production, diffusion and technological development of the electric vehicles at international level, its main limitations and the potential technological transition towards the electrification of the automotive industry. In this context, for the Argentine case, it analyzes the existence of potentially key natural resources for the productive chain of electric vehicles existing at national and regional levels. The results show that the Argentine automotive industry could take advantage of the technological transition to exploit key natural resources for batteries (lithium) and electric motors (rare earth metals) available nationally and regionally, respectively; what would allow to gain productive integration. The specialization in pickups deepens the opportunity generated by the technological transition, since they have a lower degree and rhythm of electrification, and therefore a market still to be explored.*

*Keywords:* electric vehicles, pickups, lithium, rare earth metals, Argentina, Mercosur.

## RESUMEN

*El presente trabajo explora la evolución de la producción, difusión y desarrollo tecnológico de los vehículos eléctricos a nivel internacional, sus principales limitaciones y la potencial transición tecnológica hacia la electrificación de la industria automotriz. En ese marco, para el caso argentino analiza la existencia de recursos naturales potencialmente claves para la cadena productiva de vehículos eléctricos existentes a nivel nacional y regional. Los resultados muestran que la industria automotriz argentina podría aprovechar la transición tecnológica para explotar recursos naturales clave para las baterías (litio) y los motores eléctricos (metales de tierras raras) disponibles a nivel nacional y regional, respectivamente; lo que permitiría ganar integración productiva. La especialización en pickups ahonda la oportunidad que genera la transición tecnológica, ya que las mismas poseen un grado y ritmo de electrificación menor, y por ende un mercado aún por explorar.*

*Palabras Clave:* vehículos eléctricos, pickups, litio, metales de tierras raras, Argentina, Mercosur.

## 1. Introducción

La situación actual de la cadena automotriz en la Argentina y el MERCOSUR enfrenta dos grandes desafíos: el creciente rol de China (y las empresas de origen chino) como productor y exportador de vehículos; y la difusión internacional (acotada actualmente a los países desarrollados -PD-) de las regulaciones que incentivan el desarrollo y adopción de “tecnologías verdes”, y que en el sector se plasmaron en el desarrollo de vehículos basados en energías alternativas. Entre ellos se destacan los híbridos (motor de combustión interna -MCI- y motor eléctrico), que pueden ser tanto enchufables (PHEV, por sus siglas en inglés) y no enchufables (HEV), y vehículos 100% eléctricos (denominados *battery electric vehicle* -BEV-). Complementariamente, los *fuel-cell electric vehicle* (FCEV) se basan en la tecnología del hidrógeno.

En este contexto, el objetivo del presente trabajo es estudiar estos desafíos (ampliamente correlacionados ya que es China uno de los principales productores de vehículos eléctricos -EVs, por sus siglas en inglés- a nivel internacional), haciendo eje en las oportunidades que representa la potencial transición a EVs para la Argentina.

La hipótesis principal es que la electromovilidad representa una oportunidad para la Argentina para incrementar sus exportaciones y mejorar el balance comercial sectorial; especialmente en los concerniente a las autopartes y módulos, que sufrirán importantes mutaciones y sustituciones bajo la nueva tecnología.



El trabajo se estructura de la siguiente forma. En la sección N° 2 se analiza el desarrollo y producción de EVs a nivel global. En la sección N° 3 se estudian los avances en la temática para el caso argentino, haciendo énfasis en la potencialidad existente basada en la disponibilidad a nivel nacional y regional de recursos naturales estratégicos. La sección N° 4 cierra el trabajo discutiendo la hipótesis planteada y presentando las conclusiones.

## 2. Desarrollo y producción de los vehículos eléctricos a nivel global

### 2.1 Marcos regulatorios, políticas específicas y la incidencia de la problemática ambiental

La emisión de gases de efecto invernadero (GEI), que viene en aumento desde la revolución industrial (IPCC, 2014), ha sufrido un fuerte impulso en las últimas décadas. Actualmente, las emisiones que provienen del consumo de derivados del petróleo (como las gasolinas de los vehículos) representan cerca de un tercio de las emisiones totales de CO<sub>2</sub>, por lo que su aporte a la potencial reducción de emisiones a nivel global podría llegar a ser sustantivo.

Estas emisiones de GEI son una falla de mercado global de difícil solución, ya que el ambiente tiene características de “bien público” global (no rivalidad y no exclusión), por lo que un país individual tiene incentivos a descargar el cuidado del mismo (que representa internalizar los costos de los daños ambientales) en el resto de los países. Esto genera un “equilibrio de Nash”, donde el equilibrio cooperativo (que internaliza los costos de los daños ambientales) es óptimo a nivel social y global, pero no se presentan los incentivos individuales (a nivel países y firmas) para alcanzarlo. Esto parece apreciarse en el Acuerdo de París, que más allá de fijar objetivos generales y delegar las propuestas de objetivos e instrumentos nacionales de adaptación y mitigación en cada país miembro del acuerdo, ha sufrido un fuerte impacto con la retirada de EEUU del mismo en el año 2017 por parte de la presidencia de Donald Trump. A nivel más general, los compromisos del acuerdo carecen de un carácter jurídico definido a nivel internacional, y por ende el acuerdo está falto también de mecanismos de *enforcement* ante potenciales incumplimientos.

Sin embargo, cabe destacar distintas iniciativas a nivel regional y nacional en diversos países que buscan disminuir la emisión de GEI mediante la difusión de la electromovilidad. Primeramente, se puede destacar que las políticas implementadas se centran principalmente en cuatro tipos de iniciativas (Dulcich *et al.*, 2018). Dentro de las políticas orientadas a la oferta, predominan las regulaciones de economía de combustible (que favorece el desarrollo de vehículos híbridos, que poseen un mayor rendimiento que los vehículos de motor de combustión interna -MCI-) y de limitación de emisiones de gases contaminantes; regulaciones que se complementan con los incentivos a la investigación y desarrollo (I+D). Dentro de las políticas orientadas a la demanda, existen una gran cantidad de instrumentos destinados a favorecer el consumo privado, que se complementan con iniciativas para incentivar la demanda a través de bienes y servicios complementarios (con énfasis en privilegios de acceso a infraestructura vial). Por último, las compras públicas representan una iniciativa muy relevante en algunos países y ciudades, orientada al transporte público.

Los incentivos monetarios orientados a incentivar el consumo privado han sido diseñados para cubrir la importante brecha de precios que aún existe entre EVs y vehículos de MCI. El objetivo de dichos incentivos es que dicha brecha de precios no perjudique las necesarias economías de escala y procesos de aprendizaje que debe explotar el sector. Entre ellos, uno de los más interesantes en términos de diseño es el esquema “bonus-malus” implementado en Francia, donde no sólo se incentiva a los vehículos de bajas emisiones de CO<sub>2</sub>, sino que se realiza una recarga impositiva a la venta de vehículos de altas emisiones (de 120 g CO<sub>2</sub> / km recorrido o superior), que es creciente con el nivel de dichas emisiones. Luego, además de subsidios y créditos fiscales al consumo privado (entre ellos, a la adquisición de vehículos por parte de las empresas), poseen cierta generalidad las exenciones o rebajas en los impuestos al registro y propiedad automotor. En términos de I+D, la mayor cantidad de programas en los países europeos se concentran Alemania, Francia y Gran Bretaña; países que sobresalen en términos productivos y predominan en el desarrollo tecnológico de BEV (Dulcich *et al.*, 2018).

Para el caso de los países no europeos, dentro de las políticas orientadas a la demanda se pueden destacar nuevamente un predominio de instrumentos directos, especialmente los enfocados en incentivar el consumo privado; así como una primacía de regulaciones en términos de economía del combustible y limitación de emisiones de gases contaminantes por el lado de la oferta. Por otro lado, los incentivos monetarios a la oferta están fuertemente centrados en incentivos a la I+D, que se concentran principalmente en EEUU y China, y en mucha menor medida en India y Brasil. Cabe destacar que, a pesar de ser uno de los grandes desarrolladores de tecnología en EVs (ver tabla N° 2), no se identificaron programas estatales específicos de I+D vigentes en Japón (Dulcich *et al.*, 2018). Sin embargo, ello no quiere decir que el sector no se esté beneficiando de los programas horizontales de I+D existente en Japón, en un país donde el sector privado es la fuente de financiamiento principal de dichas actividades (Odagiri, 2006).

En el caso de China, recientemente se han suscitado cambios regulatorios de relevancia. En septiembre de 2017 el gobierno chino implementó una política que impone objetivos de producción de vehículos basados en nuevas energías (PHEV, BEV y FCEV). La misma se implementa mediante un sistema de créditos, que se obtienen mediante la producción



y/o importación de estos vehículos. Para obtener créditos los vehículos deben alcanzar una autonomía mínima, y la cantidad de créditos asignados por vehículo depende del tipo de vehículo (se asignan mayores créditos a los BEV y a los FCEV que a los PHEV), y de su eficiencia energética. Las empresas deben obtener cierta cantidad mínima de créditos, y las que posean créditos excedentes pueden vendérselos a las deficitarias, lo que garantiza que se cumpla el objetivo global más allá de las aportaciones individuales, y transforma el sobrecumplimiento en un beneficio económico y el déficit en un costo. Por otro lado, China ha modificado en febrero de 2018 su subsidio a la compra de EVs, de manera de reducir el subsidio para PHEV, y para BEV de baja autonomía (menor a 300 km); y de aumentar el subsidio para el resto de los BEV, de mayor autonomía. Complementariamente, el monto del subsidio depende de la densidad y eficiencia energética (IEA, 2018). De esta forma, el subsidio cubre la importante brecha de precios existente entre los vehículos MCI y los BEV de mayor autonomía, eficiencia y densidad energética; permitiendo que las empresas ganen en economías de escala y aprendizaje tecnológico sobre este tipo de vehículos.

Para el caso de Brasil, el financiamiento de I+D no pertenece a un programa específico de electromovilidad, sino que se enmarca en *Inova Energia*, un plan más general de desarrollo tecnológico energético. Este país presentó incluso un desincentivo a los EVs mediante su estructura tributaria por varios años, ya que los mismos tributaban un Impuesto a los Productos Industrializados (IPI) más alto que los vehículos de MCI de menor cilindrada (Dulcich *et al.*, 2018); problema que ha sido enmendado recientemente (MOVE, 2018). Complementariamente, desde el año 2015 los BEV están exentos de aranceles a la importación, mientras que los híbridos poseen una reducción arancelaria significativa, dependiendo de la capacidad del MCI y de la eficiencia energética (MOVE, 2018). En términos de infraestructura, la compañía eléctrica EDP y BMW Brasil han inaugurado recientemente un corredor eléctrico con estaciones de recarga que une Sao Pablo con Rio de Janeiro, el corredor más extenso de América Latina. En este contexto, la Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL) aprobó una regulación que permite negociar precios especiales para la energía suministrada mediante las estaciones de recarga. Por último, en términos de transporte público, la empresa china BYD se asoció con la empresa local Marcopolo para producir autobuses eléctricos en Campinas (MOVE, 2018), cuyas primeras unidades ya están circulando.

## 2.2. La industria terminal de vehículos eléctricos, su infraestructura y su desarrollo tecnológico

A pesar de representar todavía una fracción menor de la producción de vehículos de distintas fuentes de energía a nivel mundial, en los últimos cinco años la venta de vehículos eléctricos e híbridos ha crecido exponencialmente, para superar el millón y medio de unidades en la actualidad. Basadas en este exponencial crecimiento de la producción y en los proyectos de inversión en I+D en marcha, diversas fuentes proyectan un fuerte crecimiento de la incidencia de los EVs en el total de las ventas de vehículos a nivel global. Según *Bloomberg New Energy Finance*, para el año 2040 se proyecta que los EVs superen la participación de los vehículos de MCI, acaparando más del 50% de las ventas globales de vehículos livianos (Dulcich *et al.*, 2018).

A nivel microeconómico, empresas como Volvo ya anunciaron que desde el año 2019 todos sus nuevos modelos serán híbridos o BEV, y proyectan tener cinco nuevos modelos BEV para 2021, así como haber vendido un millón de EVs para 2025 (IEA, 2017). Toyota, por su parte, planea vender 5,5 millones de EVs al año para 2030, un millón de los cuales serán BEV. BMW tiene estimado que entre el 15% y el 25% de las ventas del grupo para 2025 serán de EVs; mientras que Honda estima dicho ratio en un 66% para el 2030. Por último, Tesla planea vender un millón de EVs anuales para 2020, mientras que Volkswagen estima vender entre 2 y 3 millones EVs anuales para 2025 (IEA, 2017).

Sin embargo, al contrario de lo que sucede con los vehículos de MCI, donde tradicionalmente predominan empresas occidentales y japonesas en la producción global (Sturgeon *et al.*, 2009), en los EVs son las empresas chinas las que llevan la delantera en términos productivos. Como se puede apreciar en la Tabla N° 1, luego de Tesla, hay dos empresas chinas que comandan las ventas de EVs a nivel global: BYD y BAIC. Complementariamente, hay dos empresas de origen chino más que pertenecieron al Top 10 de ventas de EVs a nivel global (Roewe y Chery), y otras cinco que se incluyen en el Top 20 (Hawtai, JAC, Geely, JMC, y Dongfeng), haciendo caso omiso de que la propiedad de Volvo actualmente pertenece a Geely. Estas empresas, especialmente BYD y BAIC, y en menor medida Geely, se encuentran entre las empresas de más rápido crecimiento de su volumen de ventas en los últimos cinco años. Estos desarrollos productivos y tecnológicos están incentivados desde el gobierno chino, ya que se considera a la potencial transición tecnológica hacia la electromovilidad como una oportunidad para realizar un *leapfrogging* en el sector a nivel global (Wang y Kimble, 2011). Esto permitiría pasar a dominar la cadena de vehículos eléctricos evitando las etapas del dominio pleno de la tecnología de MCI.



**Tabla N° 1 - Principales productoras de EVs (miles de unidades vendidas)**

Empresa	2018	2014	Variación lineal	Ventas 2018 / Ventas 2014
Tesla	245	32	214	7,8
BYD	227	18	209	12,4
BAIC	165	5	160	31,7
BMW	129	18	112	7,3
Nissan	97	63	34	1,5
Roewe	93	s.d.	s.d.	s.d.
Chery	66	9	57	7,7
Hyundai	53	s.d.	s.d.	s.d.
Renault	53	18	35	2,9
Volkswagen	52	10	42	5,3
Hawtai	52	s.d.	s.d.	s.d.
Chevrolet	51	23	28	2,3
JAC	50	s.d.	s.d.	s.d.
Geely	50	s.d.	s.d.	s.d.
JMC	49	s.d.	s.d.	s.d.
Toyota	46	21	25	2,2
Mitsubishi	43	37	6	1,2
Dongfeng	40	s.d.	s.d.	s.d.
Kia	38	1	36	29,0
Volvo	36	5	31	6,9

*Fuente: Elaboración propia en base a Knoema Corporation.*

La actual tendencia y las proyecciones productivas y de mercados se fundamenta también en un desarrollo tecnológico acelerado de los diseños y tecnologías que sustentan los EVs. En la tabla N° 2 podemos apreciar que la solicitud de patentes de alto impacto económico de los BEV ha crecido a nivel mundial mucho más fuertemente que las patentes de vehículos de MCI en los últimos diez años. De hecho, mientras que para el año 2005 representaban cerca de la mitad de estas, para el año 2010 las patentes de BEV habían superado a las de vehículos de MCI. Para el caso de los híbridos, el desarrollo tecnológico fue más estable que el de los BEV, donde cabe remarcar que los híbridos se nutren también de los desarrollos tecnológicos de los vehículos convencionales y los BEV, al combinar un motor eléctrico con un MCI. Por último, es importante destacar que en términos absolutos las patentes de EVs superan ampliamente a los desarrollos de FCEV; lo que las vuelve las tecnologías predominantes en términos de desarrollo tecnológico entre las fuentes de energías alternativas para el transporte.


**Tabla N° 1: Solicitud de patentes de alto impacto económico (\*) por país desarrollador para distintas tecnologías tradicionales y alternativas de la cadena automotriz**

Tecnología patentada y país desarrollador (**)	1990	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Part. 2015	Var. 2005-2015
<b>Conventional vehicles (based on internal combustion engine)</b>											
World	573	1270	1483	1975	1854	1989	2251	2080	1791	100%	21%
Japan	272	467	670	544	511	546	709	619	480	27%	-28%
United States	98	207	219	507	466	557	661	528	445	25%	103%
Germany	98	320	267	404	378	373	308	341	312	17%	17%
Korea	2	11	35	82	97	93	114	174	180	10%	420%
United Kingdom	35	52	32	66	63	76	91	53	51	3%	58%
France	13	61	82	81	101	102	89	86	51	3%	-38%
Italy	5	19	28	40	33	26	34	52	42	2%	52%
Primeros siete desarrolladores (año 2015) / Total	91%	89%	90%	87%	89%	89%	89%	89%	87%		
<b>Electric vehicles</b>											
World	88	377	825	2129	2466	2337	2231	1964	1138	100%	38%
Japan	35	225	527	1002	1211	1025	991	798	452	40%	-14%
United States	13	63	112	340	382	351	379	373	208	18%	85%
Korea	0	7	33	175	234	260	275	254	149	13%	359%
Germany	13	33	72	279	288	307	256	284	147	13%	104%
France	0	12	26	78	106	107	100	58	33	3%	29%
United Kingdom	5	1	2	23	31	49	37	25	32	3%	1492%
China (People's Republic of)	0	5	7	53	43	43	42	39	27	2%	309%
Primeros siete desarrolladores (año 2015) / Total	75%	92%	94%	92%	93%	92%	93%	93%	92%		
<b>Hybrid vehicles</b>											
World	16	277	482	639	624	693	735	668	464	100%	-4%
Japan	4	176	249	256	258	243	259	201	188	41%	-24%
United States	6	38	94	144	136	211	195	180	89	19%	-5%
Korea	0	2	10	32	43	40	66	97	68	15%	575%
Germany	3	35	68	104	97	95	85	57	51	11%	-25%
France	0	3	18	16	24	28	56	23	18	4%	3%
China (People's Republic of)	0	2	1	10	4	2	14	40	17	4%	1178%
Sweden	0	5	15	11	8	21	19	30	7	2%	-53%
Primeros siete desarrolladores (año 2015) / Total	81%	95%	94%	89%	91%	92%	94%	94%	94%		
<b>Application of fuel cell and hydrogen technology to transportation</b>											
World	2	140	178	140	151	236	227	297	178	100%	0%
Korea	0	0	3	14	9	38	51	84	59	33%	1850%
Japan	1	49	109	41	68	77	70	118	58	32%	-47%
United States	0	33	28	34	24	53	43	39	21	12%	-25%
Germany	0	47	28	31	33	32	31	36	17	10%	-39%
United Kingdom	1	3	4	3	2	3	7	1	6	3%	71%
France	0	2	1	5	6	19	9	6	5	3%	350%
Canada	0	6	4	1	2	2	3	3	4	2%	0%
Primeros siete desarrolladores (año 2015) / Total	100%	98%	99%	92%	96%	94%	93%	96%	94%		
<b>Batteries</b>											
World	14	105	242	913	1000	968	680	809	561	100%	132%
Japan	7	64	123	444	473	436	261	374	261	47%	113%
United States	1	21	15	95	122	137	133	115	103	18%	578%
Korea	0	3	71	155	189	183	157	158	97	17%	36%
Germany	4	3	5	79	77	70	41	66	31	6%	527%
China (People's Republic of)	0	4	4	45	43	45	23	25	16	3%	353%
Chinese Taipei	0	0	0	8	11	15	6	2	11	2%	n.c.
France	0	2	7	24	22	20	20	17	7	1%	-5%
Primeros siete desarrolladores (año 2015) / Total	86%	91%	93%	94%	94%	94%	93%	93%	94%		
<b>Electric vehicle charging</b>											
World	18	53	94	716	976	862	796	620	341	100%	263%
Germany	1	6	9	104	114	118	109	121	93	27%	994%
United States	3	22	32	148	207	178	184	160	75	22%	132%
Japan	7	16	39	300	433	348	287	156	61	18%	57%
Korea	0	0	2	33	64	41	69	69	23	7%	1050%
France	0	2	4	34	51	46	33	24	16	5%	343%
United Kingdom	0	1	4	5	10	17	11	6	15	4%	324%
Chinese Taipei	0	0	0	6	10	11	11	6	13	4%	n.c.
Primeros siete desarrolladores (año 2015) / Total	61%	88%	94%	88%	91%	88%	88%	87%	86%		

Fuente: Elaboración propia en base a OCDE.

(\*) Nota: Se contemplan sólo los desarrollos tecnológicos con solicitudes de patentes en tres o más mercados ("patent family size" 3 o superior). Según la OCDE, el patent family size correlaciona positivamente con el valor de la invención, por lo que se catalogaron aquí como de "alto impacto económico".

(\*\*) Nota: Para las patentes desarrolladas por residentes de más de un país, la OCDE fracciona el valor estadístico de la variable entre todos los desarrolladores para evitar la doble contabilidad. Por ende, una invención desarrollada por residentes de dos países obtiene un valor de 0,5 en cada uno de dichos países.

n.c. = No se calcula.

En términos de los principales desarrolladores de tecnología, mientras que en los vehículos de MCI predominan ampliamente Japón, EEUU y Alemania (con una creciente participación de Corea del Sur), para el caso de los EVs aumenta la incidencia actual de Corea del Sur en detrimento de Alemania. Por otra parte, dentro de los principales siete países desarrolladores de tecnología de EVs aparece China (lo que no sucede para el caso de los vehículos de MCI), con una participación todavía menor, pero con una tendencia creciente en los últimos diez años. Idéntica situación se da para el caso de las baterías, sector donde en varios años Corea del Sur incluso supera EEUU en cantidad de desarrollos tecnológicos de alto impacto económico patentados. Por otro lado, en el desarrollo de los sistemas de carga de vehículos eléctricos (esenciales para lograr disminuir los tiempos de recarga de las baterías en las estaciones de carga, uno de los cuellos de botella tecnológicos del sector) retoman la primacía la tríada de Japón, EEUU y Alemania, seguidos de lejos por Corea del Sur, Francia y Gran Bretaña.



### 3. Producción y difusión de los vehículos eléctricos en la Argentina

#### 3.1. Avances en la producción y difusión de los vehículos eléctricos en la Argentina

En el caso de la Argentina, una economía crecientemente especializada en pickups (ADEFA, 2017), son escasas las iniciativas orientadas a la producción y difusión de vehículos eléctricos, donde se encuentra rezagado incluso con respecto al resto de la región (MOVE, 2018).

Desde el año 2016, el Ministerio de Producción del Poder Ejecutivo Nacional implementó la “Mesa de Vehículos y Movilidad Alternativa” donde participan también otros ministerios nacionales, empresas del sector, y diversas instituciones público-privadas (Asociación de autopartistas -AFAC-, la Asociación Argentina de Vehículos Eléctricos y Alternativos -AAVEA-, y la Asociación de Fabricantes de Automotores -ADEFA-, entre otras). El principal objetivo de la mesa es incentivar el desarrollo tecnológico de vehículos alternativos y sus industrias, en un marco de sustentabilidad ambiental. Miembros de la AAVEA, por su parte, presentaron en el Congreso de la Nación un proyecto de ley denominado “Régimen de fomento para el desarrollo y utilización de vehículos eléctricos y sistemas de movilidad sostenible” en el año 2017. Este proyecto tiene como objetivo establecer un marco regulatorio que promueva la producción, comercialización y uso de vehículos eléctricos u otros vehículos alternativos sustentables a nivel ambiental. Existe otro proyecto orientado a difundir los vehículos eléctricos en la Argentina, presentado en noviembre de 2017 por el diputado Juan Carlos Villalonga. Posteriormente, en mayo de 2018 Argentina inició el desarrollo de su Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica, con el apoyo de ONU Medio Ambiente (MOVE, 2018).

Otra iniciativa concreta fue el decreto 331/2017, que redujo los derechos de importación extrazona de EVs por 36 meses para un cupo máximo de 6.000 vehículos; para localizarlos en un rango entre un 5% y 0% según el tipo de EV y si el vehículo se arma o no en el país. Esta cuota, exclusiva para empresas radicadas en el país, estuvo lejos de ser cubierta en su totalidad, por lo que hacia fines de marzo del 2019 el Gobierno Nacional amplió dicho beneficio a las empresas importadoras de vehículos mediante el decreto 260.

En término de inversiones, la empresa china BYD tiene un proyecto de inversión de una planta industrial en la provincia de Buenos Aires, orientada a la producción de autobuses eléctricos. Este anuncio de inversión se da en el contexto del reciente Plan Nacional de Mitigación del Sector de Transporte del Ministerio de Ambiente, que tiene como objetivo promover el uso de autobuses eléctricos, con la meta de que los mismos acaparen el 30% de la flota de autobuses del AMBA para el año 2030 (MINAMB, 2017). Una medida que complementa esta iniciativa es el decreto 51 del Poder Ejecutivo Nacional de enero de 2018, que determina una cuota de 350 autobuses eléctricos que pueden ser importados con una preferencia arancelaria por un período de 36 meses. Este arancel es de 0% para las empresas con un plan de producción local aprobado; y del 10% para las restantes, con un cupo máximo de 60 autobuses por empresa, en este caso. La producción local contemplada en el plan debe iniciarse en menos de 24 meses posteriores a las importaciones libres de arancel, con volúmenes de producción como mínimo similares a los importados, y con una integración nacional creciente (10% en los primeros dos años, 25% a partir del tercer año). Por fuera de las exigencias del plan de producción local, el decreto determina la importación de 50 autobuses libres de arancel para realizar pruebas piloto, que computan dentro del total de la cuota. El mencionado decreto dispone también una cuota de importación de 2.500 cargadores eléctricos al 2% de arancel, que se acota a los cargadores con una potencia de 50 Kw/h o superior destinados a la infraestructura de recarga.

En la misma línea, en el marco del Plan Movilidad Limpia 2035 de la Ciudad de Buenos Aires, se están realizando pruebas piloto de incorporación de autobuses híbridos y 100% eléctricos, incorporando ocho unidades en cuatro líneas de colectivos que transitan por la ciudad. A la par, la ciudad incorporó dos Renault Kangoo ZE en su flota de tránsito para evaluar su desempeño, en conjunto con dos cargadores de la empresa Enel (MOVE, 2018).

La infraestructura de recarga es otro de los tópicos donde se han realizado escasos avances. Sin embargo, uno de ellos ha sido el anuncio de abril de 2017 por parte de YPF de la instalación de 220 puestos de recarga rápida de baterías (de entre 15 y 30 minutos promedio) en 110 estaciones de servicio, que contarán con los estándares de conexión dominantes en el mercado (entre ellos, CCS y CHAdeMO). Dicha inversión se realizará en alianza con QEV Argentina (holding de electromovilidad que realizará las instalaciones), y el grupo ABB (desarrollador de los cargadores). Los primeros cargadores eléctricos ya estaban instalados para comienzos de agosto de 2017 en la Ciudad de Buenos Aires, donde se concentra parte importante del parque automotor argentino en general. El día 8 de ese mismo mes, Edesur (empresa distribuidora de energía en la zona sur de capital y gran Buenos Aires) le envió una carta reclamándole al Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE) que dicha empresa posee exclusividad en la distribución y comercialización de energía eléctrica según el contrato de concesión del servicio. Sin embargo, el ENRE desestimó el reclamo, alegando que la venta de electricidad a vehículos será encuadrada como negocio no regulado, permitiendo la competencia en el sector (Dulcich *et al.*, 2018).

En dicho contexto, los lanzamientos de vehículos eléctricos en el mercado argentino aún son acotados y muy recientes: Renault Kangoo ZE, Mercedes Benz GLC 350e y el Nissan Leaf (MOVE, 2018). Según la Cámara Argentina de Vehículos



Eléctricos Alternativos y Autopartes (CAVEA), a ellos deben sumarse la moto Lucky Lion y el pequeño citycar Sero Electric de origen nacional. Asimismo, está proyectado el lanzamiento de otro citycar de origen nacional, fabricado en la provincia de Córdoba por Volt Motors (Dulcich *et al*, 2018).

Si maduran estos incipientes proyectos productivos y se consolida la producción de vehículos eléctricos en Argentina, es importante remarcar que la actual tendencia a la especialización en pickups de la industria automotriz argentina no presentaría importantes escollos para dichos procesos. A pesar de que existieron limitaciones que retrasaron la electrificación de estos vehículos en comparación con los automóviles (deficiencias sobre la energía, potencia y costo de las baterías, como destacan Sripad y Viswanathan, 2017), actualmente se están desarrollando y probando los primeros prototipos de pickups híbridas o eléctricas. Por ende, esta situación, lejos de representar una limitación, refuerza la oportunidad para la Argentina de posicionarse como un pionero en la materia.

### 3.2. La potencialidad basada en la disponibilidad a nivel regional de recursos naturales estratégicos para la producción de vehículos eléctricos

Esta oportunidad para la Argentina se ve potenciada por el hecho de que la región presenta una gran disponibilidad de dos recursos naturales que son fundamentales para la producción de EVs: el litio en la Argentina, que se utiliza en las baterías; y los metales de tierras raras en Brasil (tabla N° 3, donde se remarcan en verde las participaciones más elevadas), que se usan en la producción de los imanes de los motores eléctricos. Cabe destacar que sólo China posee reservas significativas en conjunto de metales de tierras raras y litio; lo que demuestra la potencialidad de explotarlo a nivel MERCOSUR para desarrollar la cadena de valor de EVs.

**Tabla N° 3: Producción minera, reservas y recursos por país de metales de tierras raras y litio**

País	Metales de tierras raras (*)				Litio					
	Producción minera estimada (2018)		Reservas		Producción minera estimada (2018)		Reservas		Recursos	
	Tn	Part.	Tn	Part.	Tn	Part.	Tn	Part.	Tn	Part.
United States	15.000	9%	1.400.000	1%	s.d.	s.d.	35.000	0%	6.800.000	11%
Australia	20.000	12%	3.400.000	3%	51.000	60%	2.700.000	19%	7.700.000	12%
Brazil	1.000	1%	22.000.000	18%	600	1%	54.000	0%	180.000	0%
Canada	0	0%	830.000	1%	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	2.000.000	3%
China	120.000	71%	44.000.000	37%	8.000	9%	1.000.000	7%	4.500.000	7%
India	1.800	1%	6.900.000	6%	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.
Russia	2.600	2%	12.000.000	10%	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	1.000.000	2%
Vietnam	400	0%	22.000.000	18%	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.
Argentina	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	6.200	7%	2.000.000	14%	14.800.000	24%
Chile	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	16.000	19%	8.000.000	57%	8.500.000	14%
Bolivia	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	9.000.000	15%
Congo (Kinshasa)	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	1.000.000	2%
Serbia	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	1.000.000	2%
Czech Republic	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	1.300.000	2%
México	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	1.700.000	3%
Cuba	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.
Madagascar	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.
Philippines	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.
<b>Total Mundo</b>	<b>170.000</b>	<b>100%</b>	<b>120.000.000</b>	<b>100%</b>	<b>85.000</b>	<b>100%</b>	<b>14.000.000</b>	<b>100%</b>	<b>62.000.000</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia en base al US Geological Survey Mineral Commodity Summaries de febrero de 2019.

s.d. = sin datos.

Definiciones:

**Recursos:** Una concentración de un material sólido, líquido o gaseoso de ocurrencia natural en o sobre la corteza terrestre en tal forma y cantidad que la extracción económica de un producto comercializable desde dicha

**Reservas base:** La parte de un recurso identificado que cumple con los criterios físicos y químicos mínimos relacionados con las prácticas de minería y producción vigentes; incluidas las de grado, calidad, espesor y determinado. Esto no necesariamente significa que las instalaciones de extracción están disponibles y operativas. Al estar incididas por consideraciones económicas, están determinadas por los costos de perforación, impuestos, precios, demanda, etc.

(\*) Nota: No se presentan los recursos de Metales de Tierras Raras, ya que según la fuente utilizada son relativamente abundantes en la corteza terrestre (aunque en concentraciones no necesariamente explotables), por lo cual no los presenta desagregados por país.



Para el caso de los metales de tierras raras en Brasil, según Takehara *et al.* (2016), dichas reservas se podrían expandir aún más si los proyectos de exploración vigentes resultan exitosos. Una particularidad relevante de dichos proyectos es que cubrirían la explotación de metales de tierras raras tanto ligeros como pesados; a pesar de que los proyectos de explotación de estos últimos afrontan mayores dificultades tecnológicas. En contraposición, los proyectos de donde existe una alta concentración de metales ligeros de tierras raras, como el de la mina de Araxá, presentan la ventaja de que ya poseen extracción y producción minera de otros elementos (Takehara *et al.*, 2016).

Para el caso del litio en Argentina, además de posicionarse como los principales productores y reservorios de litio en la actualidad, las proyecciones muestran que Chile y la Argentina dominarán (junto con Australia) el creciente mercado mundial de litio. Por otro lado, en dicho pujante mercado, la incidencia de la demanda de litio para la producción de vehículos eléctricos será creciente, llegando a acaparar el 37% de la oferta global para 2025 (Deutsche Bank, 2016).

En la Argentina, la explotación del litio se realiza en el marco de la Ley de Inversiones Mineras N° 24.196 de 1993 y sus modificatorias, que determina estabilidad fiscal, diversas exenciones impositivas y la posibilidad de deducir ciertas inversiones del impuesto a las ganancias, entre otras. Asimismo, determina que las regalías que perciban las provincias no podrán superar un 3% del valor “boca de mina” (previo a la transformación) del mineral extraído. Las regulaciones nacionales se complementan con las normas y políticas a nivel provincial. Las provincias regulan la concesión de permisos de exploración y puesta en marcha de las explotaciones. Allí surgen diferencias significativas respecto al litio (Marin *et al.*, 2015): mientras que Salta y Catamarca se han orientado a incentivar la radicación de empresas que extraigan el recurso, Jujuy encaró diversas iniciativas para favorecer el procesamiento del litio así como el desarrollo de capacidades científico-tecnológicas asociadas al recurso. Por ejemplo, creó la empresa JEMSE (Jujuy Energía y Minería Sociedad del Estado), que tiene participación en el directorio de las empresas que explotan el recurso en la provincia. Por ejemplo, participa en Sales de Jujuy SA con un 8.5%, en conjunto con la minera australiana Orocobre (66.5%) y Toyota Tsusho (25%), lo que demuestra la incipiente presencia de automotrices globales extrayendo litio en la Argentina. Asimismo, la provincia cuenta con el recientemente inaugurado Centro de Investigación y Desarrollo en Materiales Avanzados y Almacenamiento de Energía de Jujuy (CIDMEJu), integrado por el CONICET, la Universidad Nacional de Jujuy y el gobierno provincial (a través de su Secretaría de Ciencia y Tecnología).

#### 4. Discusión y conclusiones

Los EVs representan todavía una fracción menor de la producción mundial automotriz. Sin embargo, presentan una dinámica productiva y tecnológica creciente, superior a la de los vehículos de MCI; y se han posicionado en la actualidad como predominantes dentro del universo de las tecnologías alternativas a dichos vehículos. Su desarrollo y producción a nivel internacional está muy incidiendo por los incentivos generados por marcos regulatorios y políticas específicas en diversos países (subsidios a la demanda, financiamiento de I+D, regulaciones que limitan las emisiones contaminantes, etc). En este contexto, los vehículos eléctricos representan una potencial transición en el paradigma tecno-económico de la cadena, que abre ventanas de oportunidad para el reposicionamiento de empresas y países, y el surgimiento de nuevos competidores; así como un desafío de envergadura para los actuales líderes de la cadena.

Desde la Argentina dicha transición puede ser vista en un doble sentido. Primeramente, desafía la posición alcanzada como proveedor de vehículos terminados a nivel regional. A pesar de ser fuertemente dependiente del mercado brasileño, dicha inserción exportadora logró cierta diversificación de destinos de exportación de la mano de una especialización productiva y de comercio exterior basada en pickups (Dulcich *et al.*, 2018).

Sin embargo, esta especialización en vehículos terminados se contraponen a un fuerte déficit de comercio exterior en autopartes y componentes, tanto con Brasil como con el resto del mundo. En este sentido, a la par de presentar una oportunidad para avanzar en una mayor orientación exportadora y con destinos más diversificados en la industria automotriz, los vehículos eléctricos podrían llegar a permitir mejorar la competitividad de la industria de partes y componentes. Ciertos eslabones centrales a nivel tecnológico y donde Argentina presenta fuertes brechas de capacidades con la región y el mundo, como los MCI, serían reemplazadas por la preponderancia que tienen las baterías y los motores eléctricos en los EVs. Dichos componentes se sustentan de forma más intensa en conocimientos de química (para las baterías) y de electromecánica (para los motores eléctricos); donde las ventajas comparativas a nivel industrial que presenta el país en la actualidad demostrarían que existen capacidades latentes que pueden ser exploradas para llevar adelante dichos desarrollos y producciones (Bekerman y Dulcich, 2013).

Efectivizar dichas potencialidades y aprovechar las ventajas de *first mover* a nivel regional, así como potencialmente realizar *leapfrogging* a nivel global depende de muy diversas condiciones, donde el Estado ocupa un rol central. Los mencionados procesos se dan en contextos de transiciones tecnológicas que tienen un elevado grado de incertidumbre. Esto aumenta los riesgos de asignar recursos a estos procesos, pero a la par dichos contextos son los que representan ventanas de oportunidad más significativas. Asignar recursos cuando una tecnología ya maduró a nivel internacional, por lo cual en general se adopta desde el exterior, es un proceso que la Argentina realiza de manera muy difundida, en diversos



sectores, incluyendo el automotriz (Dulcich, 2018). Por muy diversos factores, que exceden el objetivo del presente trabajo, esto determina que la Argentina sea fuertemente dependiente de tecnología extranjera, lo que se refleja en sus significativas importaciones de bienes de capital e insumos de alta complejidad ante procesos de crecimiento, así como en el elevado pago al exterior de regalías por licencias tecnológicas.

Ser *first mover* a nivel regional es una oportunidad que se abre ya que nuestro principal socio de la región, Brasil, se encuentra en un estadio incipiente respecto al desarrollo y producción de vehículos eléctricos (Dulcich *et al.*, 2018). Por otro lado, los procesos de *leapfrogging* a nivel global son mucho más inciertos, y dependen de una gran asignación de recursos y coordinación de instrumentos de política, entre otras condiciones. Es difícil imaginar que dicho proceso se pueda llegar a efectivizar con éxito en la Argentina. Sin embargo, hay dos condiciones que abren pequeños márgenes de esperanzas.

Por un lado, el MERCOSUR presenta dos recursos naturales claves para la cadena productiva de EVs: los metales de tierras raras en Brasil y el litio en Argentina. Estos recursos se encuentran en conjunto y en condiciones de ser explotados económicamente en pocos lugares del mundo en la actualidad, entre ellos en China.

China implementa diversas políticas para desincentivar la exportación de dichos recursos en formas primarias, favoreciendo la elaboración de los mismos dentro de su territorio. A la par de implementar joint ventures entre empresas chinas y extranjeras del sector, de manera de efectivizar la transferencia tecnológica latente en la IED, está incentivando el desarrollo de firmas automotrices con marcas propias como BYD, BAIC, Chery y Geely; entre otras. Por ende, para China la potencial transición hacia vehículos eléctricos representa una oportunidad de *leapfrogging* sectorial a la cual está destinando cuantiosos recursos. Más allá de ya ser el principal productor de vehículos a nivel global, dicho *leapfrogging* le permitiría dominar los eslabones tecnológicamente más complejos de las reestructuradas cadenas productivas automotrices; y probablemente aumentar la orientación exportadora de su industria automotriz, que hoy se vuelca principalmente al creciente mercado interno chino (Dulcich *et al.*, 2018).

En este sentido, la radicación en el MERCOSUR de actividades productivas y de I+D asociadas a los EVs permitiría a las firmas occidentales y japonesas proteger su tradicional presencia en el mercado regional. Complementariamente, la disponibilidad de los metales de tierras raras y de litio en la región es un elemento de negociación de los gobiernos para incentivar dichas radicaciones. Por último, considerando el caso de Argentina, está abierta la oportunidad de aprovechar la creciente especialización en pickups para incentivar la radicación de eslabones productivos y de I+D de las futuras pickups eléctricas; cuyo desarrollo a nivel global está más rezagado que el de los automóviles, por lo cual la ventana de oportunidad es mayor (Dulcich *et al.*, 2018).

Los desafíos para aprovechar estas potenciales oportunidades son sustantivos, y requieren de asignación de recursos para I+D, formación de recursos humanos, readecuación de marcos regulatorios, diseño de incentivos a la iniciativa privada, coordinación de inversiones productivas y de infraestructura, etc. En contextos de alta incertidumbre, dichas iniciativas muchas veces pueden fallar. La experiencia argentina demuestra que asimismo dichos intentos pueden fallar por estar mal diseñados o mal coordinados los instrumentos en cuestión (Dulcich, 2018). Sin embargo, como menciona Rodrik (2006), que sea imposible elegir *siempre* a los sectores que lograrán un desarrollo exitoso, dado el elevado grado de incertidumbre tecnológica y de mercado con el que se toman las decisiones, no invalida la realización de política productiva en general, fundamental para el desarrollo económico. El objetivo del presente trabajo fue sumar elementos al debate sobre si las transformaciones en marcha en la cadena automotriz representan una oportunidad para la Argentina, y sobre cuáles serían las herramientas necesarias para aprovecharla.

## Agradecimientos

La presente ponencia es fruto de las investigaciones del autor llevadas adelante en el marco del proyecto de investigación y desarrollo (PID) “Escenarios energéticos posibles frente a diferentes hipótesis de uso del vehículo eléctrico en la Argentina” (ENUTNGP0004885) de la UTN FRGP. El autor agradece los certeros comentarios y sugerencias de los integrantes del proyecto, especialmente los del Dr. Adrian Canzian, director del mismo. Al mismo tiempo, agradece los valiosos consejos del Dr. Dino Otero, director del CIDIV. Desde ya, los errores y limitaciones de la ponencia son de exclusiva responsabilidad de su autor.

## Referencias

- [1] ADEFA, “Anuario 2017. Asociación de Fábricas de Automotores”, (2017). Disponible en <http://www.adefa.org.ar/es/estadisticas-anuarios-interno?id=52> (último acceso 13/06/2018).
- [2] Bekerman, M; y Dulcich, F., “La inserción internacional de la Argentina. ¿Hacia un proceso de diversificación exportadora?”, Revista de la CEPAL, 110, (2013). Santiago de Chile.



- [3] Deutsche Bank, “Welcome to the Lithium-ion Age”. FITT Research, Deutsche Bank, (2016). Disponible en <http://rockstone-research.com/images/PDF/WelcomeLithiumIonAge.PDF> (último acceso 05/06/2018).
- [4] Dulcich, F., “Especialización internacional y escaso desarrollo endógeno de tecnología en la Argentina”, Revista Ciencia, Docencia y Tecnología 29, 56, (2018).
- [5] Dulcich, F; Otero, D; y Canzian, A., “Evolución histórica, situación actual y perspectivas de la cadena automotriz a nivel global y regional: ¿son los vehículos eléctricos una oportunidad para la Argentina?”. Documento de Trabajo del CIDIV N° 01/2018. Facultad Regional General Pacheco, UTN, (2018). Disponible en [http://www.frgp.utn.edu.ar/images/utn-frgp/scyt/\\_archivos/documento-trabajo-cidiv/documento-de-trabajo-del-cidiv.pdf](http://www.frgp.utn.edu.ar/images/utn-frgp/scyt/_archivos/documento-trabajo-cidiv/documento-de-trabajo-del-cidiv.pdf) (último acceso 13/11/2018).
- [6] IEA, “Global EV Outlook 2017: Two million and counting. International Energy Agency”, (2017), Francia.
- [7] IEA, “Global EV Outlook 2018: Towards cross-modal electrification”, (2018), Francia.
- [8] IPCC, “Climate Change 2014: Synthesis Report”, (2014). Ginebra, Suiza: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- [9] Marin, A; Obaya, M; y del Castillo, M., “Industrias extractivas siglo XXI, desafíos y posibilidades de transformación: los casos del litio en Argentina y el cobre en Chile”. Documento de Trabajo N° 1, Red Sudamericana de Economía Aplicada, (2015).
- [10] MINAMB, “Plan Nacional de Mitigación del sector Transporte (PNMT)”. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, octubre, (2017). Disponible en [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anexo\\_9.06.\\_plan\\_de\\_mitigacion\\_del\\_sector\\_transporte\\_2017.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anexo_9.06._plan_de_mitigacion_del_sector_transporte_2017.pdf) (último acceso 02/07/2018).
- [11] MOVE, “Movilidad eléctrica: avances en América Latina y el Caribe y oportunidades para la colaboración regional”. ONU Medio Ambiente, 2018.
- [12] Odagiri, H., “Advance of science-based industries and the changing innovation system of Japan”. En B. Lundvall, P. Intarakumnerd, & J. Vang (Eds.), *Asia’s Innovation Systems in Transition* (pp. 200-226), (2006). Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
- [13] Rodrik, D., “What’s so special about china’s exports?”. NBER Working Paper Series N° 11947, (2006).
- [14] Sripad, S; y Viswanathan, V., “Evaluation of Current, Future, and Beyond Li-Ion Batteries for the Electrification of Light Commercial Vehicles: Challenges and Opportunities”. *Journal of The Electrochemical Society*, 164, 11, (2017).
- [15] Sturgeon, T; Memedovic, O; Van Biesebroeck, J; & Gereffi, G., “Globalisation of the automotive industry: main features and trends”. *International Journal of Technological Learning, Innovation and Development*, 2(1/2), 7-24, (2009).
- [16] Takehara, L; Silveira, F; y Santos, R., “Potentiality of rare earth elements in Brazil”. *Rare Earths Industry*, cap. 4, pp. 57-72, (2016).
- [17] Wang, H., & Kimble, C., “Leapfrogging to electric vehicles: patterns and scenarios for China’s automobile industry”. *International Journal of Automotive Technology and Management*, 11(4), 312-325, (2011).



**Vehículo eléctrico (V.E.)  
huella de Carbono, Interferencia Electromagnética (EMI) y reciclabilidad**

**J. P. Dri <sup>a</sup>, J.L. Garcia <sup>a</sup>, F. De Tomaso <sup>a</sup>, M. Cisterna <sup>a</sup>, J. Pérez Arrieu <sup>a</sup>, A. Canzian <sup>a</sup>**

<sup>a</sup> Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Gral. Pacheco, Gral. Pacheco, Buenos Aires, Argentina.

\* Juan Pablo Dri: [juanpablodri@gmail.com](mailto:juanpablodri@gmail.com)

#### ABSTRACT

*While the global trend towards the migration of internal combustion vehicles to electric mobility to meet the increasingly stringent limits on greenhouse emissions (GHG) has generated great enthusiasm, there is great concern in the engineering and development groups of the automotive terminals (OEM) to take the Electric Vehicle to Battery (BEV) to mass production. The most important challenges are in the emissions generated throughout the life cycle in each manufacturing process of the VE, from the extraction of raw materials, manufacture for the manufacture of batteries and motors, assembly, loading, use, maintenance, recycling and the final disposition of its components and materials.*

*Comparing the gaseous emissions generated through the life cycle for the Internal Combustion Vehicle (VCI) and the VE, it is important to take into account the origin of the power generation source because according to the energy matrix, the maturity and level of automation of manufacturing processes could not be reduced or even higher levels of greenhouse gas emissions generated.*

*Another relevant factor to take into account when increasing the hybrid and electric vehicles will be a new type and level of electromagnetic interference in the streets and routes [3]. For which they will have to adapt the evaluation and measurement techniques considering the nature of high power switching of the electric powertrain with different load levels, generating interferences of different magnitude and spectrum than the VCI.*

*Keywords: Emissions, Carbon footprint, CO<sub>2</sub>, Recycling, Electromagnetic Interference*

#### RESUMEN

*Si bien la tendencia mundial a la migración de vehículos de combustión interna a movilidad eléctrica para poder cumplir los límites cada vez más exigentes sobre emisiones de efecto invernadero (GHG) ha generado gran entusiasmo, hay gran preocupación en los grupos de ingeniería y desarrollo de las terminales automotrices (OEM) para llevar el Vehículo Eléctrico a Batería (BEV) a la producción en serie. Los retos más importantes se encuentran en las emisiones generadas en todo el ciclo de vida en cada proceso de fabricación del VE, desde la extracción de materias primas, la manufactura para la fabricación de baterías y motores, montaje, carga, uso, mantenimiento, reciclado y la disposición final de sus componentes y materiales.*

*Al realizar la comparación de las emisiones gaseosas generadas en todo el ciclo de vida para el Vehículo de Combustión Interna (VCI) y el VE, es relevante tener en cuenta la procedencia de la fuente generación de energía porque de acuerdo a la matriz energética, la madurez y nivel de automatización de los procesos manufactura podrían no reducirse o inclusive ser mayores los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero generadas.*

*Otro factor relevante a tener en cuenta al incrementarse los vehículos híbridos y eléctricos se producirá un nuevo tipo y nivel de interferencia electromagnética en las calles y rutas [3]. Para lo cual se tendrán que adecuar las técnicas de evaluación y medición considerando la naturaleza de conmutación de alta potencia de los propulsores eléctricos con diferentes niveles de carga, generando interferencias de diferente magnitud y espectro que los VCI.*

*Palabras Clave: Emisiones, Trazabilidad de Carbono, CO<sub>2</sub>, Reciclado, Interferencia Electromagnética.*



## 1. Introducción

Actualmente el aumento en la rigurosidad de los límites para minimizar las emisiones de efecto invernadero son una preocupación global de los gobiernos para encontrar un punto de inflexión en el calentamiento global antes y minimizar la contaminación nociva para la salud, lo cual ha llevado inclusive a restringir la circulación del transporte automotor en zonas pobladas. La evaluación de trazabilidad de carbono en todo el ciclo de vida es una herramienta que permite realizar un análisis cuantitativo y cualitativo de los efectos en cada etapa desde la materia prima hasta su re-uso, reciclado y disposición final, pudiendo definir perspectivas tecnológicas acordes para disminuir las emisiones y analizar la factibilidad de los escenarios locales para introducción de los VE.

También poder entender, medir y analizar la generación de nuevos niveles y tipos de interferencias electromagnéticas EMI generadas por la incorporación de la movilidad eléctrica en las calles y rutas.

### 1.1. Estado de situación de emisiones gaseosas

En la figura 1 se observa la evolución histórica de los gases de efecto invernadero.

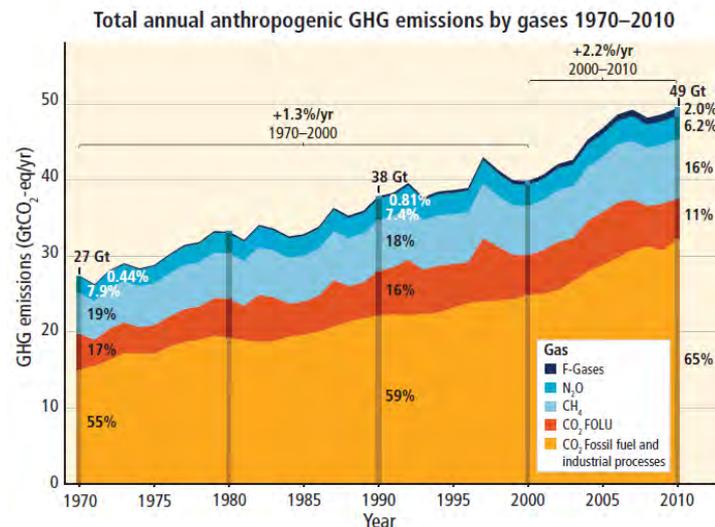


Fig. 1 – Evolución de gases de efecto invernadero GHG [1]

En la misma se aprecia que el incremento mayor se debe a la influencia a las emisiones generadas por los combustibles fósiles, llegando al 65% del total.

La figura 2 muestra la evolución de la generación de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> para los combustibles fósiles y los

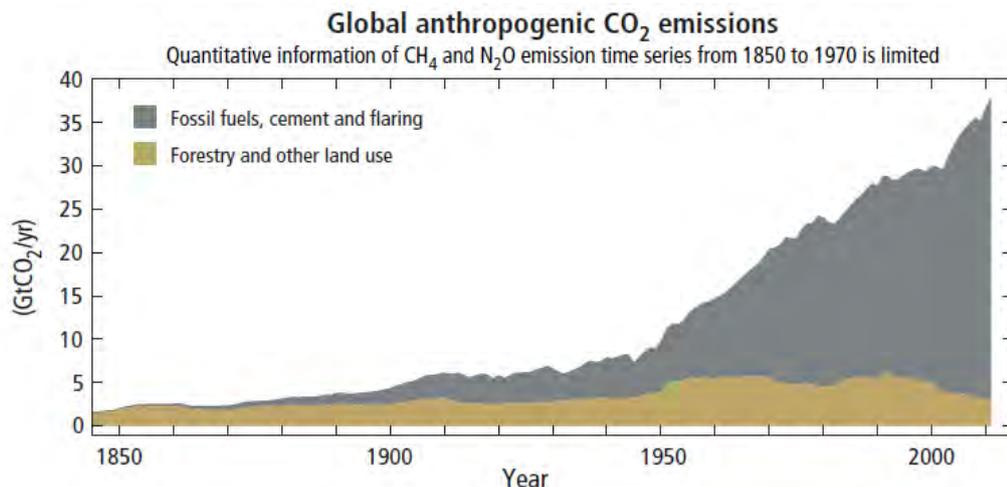


Fig. 2 – Evolución global de emisiones de CO<sub>2</sub> [1]



procesos industriales (CFPI) separado del generado por las actividades forestales y uso de la tierra (CO<sub>2</sub> FOLU). En la misma se aprecia un crecimiento exponencial, para las emisiones que hemos identificado como CFPI, mientras que CO<sub>2</sub> FOLU, se mantienen constantes, con una leve tendencia a la disminución en la última década.

Por otra parte, la figura muestra un desglose pormenorizado, para cada sector económico, de la contribución a la generación de CO<sub>2</sub>. SE aprecia que el sector transporte contribuye con el 14 % del mismo.

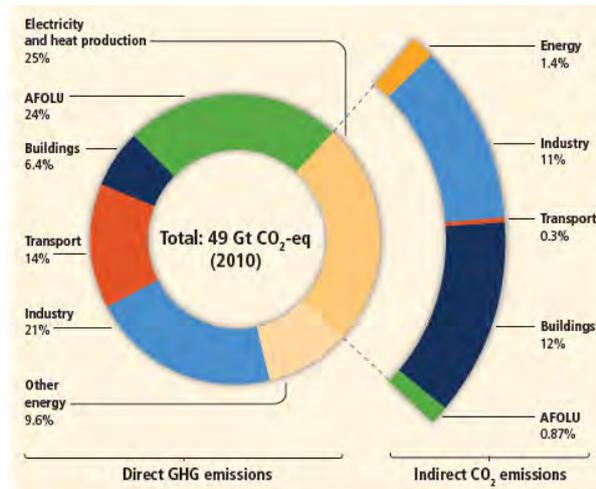


Fig. 3 – Aporte de CO<sub>2</sub> por sector [1]

### 1.2. Análisis y cuantificación de emisiones gaseosas

Para llevar adelante un estudio comparativo del impacto ambiental de los vehículos ya sean de combustión interna (ICE) o Eléctricos EV, desde su concepción en la cadena de fabricación, se empleará la noción de Gases de efecto invernadero (GEI) y, en particular, se analizará la trazabilidad o “Huella de carbono” CO<sub>2</sub>.

Para la estimación del impacto de un material o de un producto, la misma se puede realizar a través de las normas pertinentes y del estudio protocolo de gases (GEI, Greenhouse Gas Protocol), para lo cual se debe tener en cuenta:

- Extracción
- Procesamiento de la materia prima
- Fabricación
- Transporte
- Distribución
- Uso
- Reutilización
- Mantenimiento
- Reciclaje para su disposición final

Según la norma de referencia ISO 14064 la estimación de la Trazabilidad de Huella de Carbono, tiene en cuenta lo siguiente:

1. Límites organizacionales, operacionales y exclusiones.
2. Emisiones directas e indirectas de GEI (energía,)
3. Cuantificación y elección de herramientas de calculo
4. Comprobación contra límites



Lo anterior se puede esquematizar en el diagrama de flujo de la figura 4.



Fig. 4 – Diagrama general para el cálculo de la huella de carbono

Para calcular el impacto en la huella de carbono, hay que tener en cuenta desde la fabricación de los componentes hasta la generación de la energía, el uso, mantenimiento y hasta su disposición final.

1.2.1 Cadena de Identificación de Emisiones en el vehículo eléctrico VE

La figura 5 muestra un diagrama que permite identificar las posibles emisiones en un VE, en recuadro rojo se destaca los principales factores a tener en cuenta. Como se puede observar en fuente de recurso energético aparece, quizás la razón principal, sobre las recientes controversias sobre la emisión de CO<sub>2</sub> entre los vehículos ICE y VE.

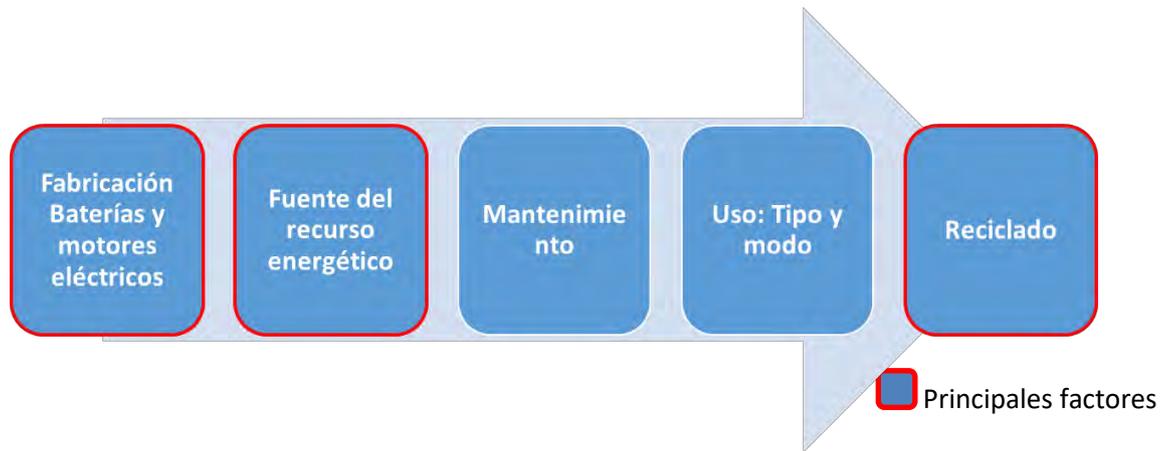


fig. 5 – Cadena de identificación de emisiones para el VE

Para entender cuán sustentable es el transporte de acuerdo a Chris Mi y Abul Masrur en Hybrid and Electric Vehicles [7], “se debe poner atención en la manera en que la energía puede ser derivado y como son energizados los vehículos”. Obteniendo las diferentes combinaciones de categorías, en el siguiente esquema:

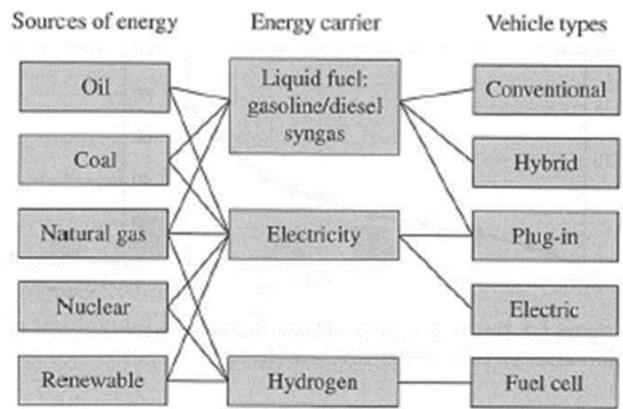


fig. 6 – Diversificación de acuerdo a la fuente de energía, medio de transporte y tipo de vehículo [5]



La figura 7 permite comparar el ciclo de vida para los procesos de fabricación de un ICE y un VE. Todavía, la fabricación de la batería de un VE, representa una fuente importante en la emisión de CO<sub>2</sub>. Esto podría atribuirse a la falta de madurez de los procesos que se están desarrollando actualmente para la producción de baterías (Giga-factorías), las cuales demandan grandes cantidades de energía tanto para la fabricación como para la carga; dicha energía puede provenir de fuentes convencionales, pero, si en un futuro, la misma es reemplazada por energías renovables, se tendría una reducción aún mayor en el proceso de emisión.

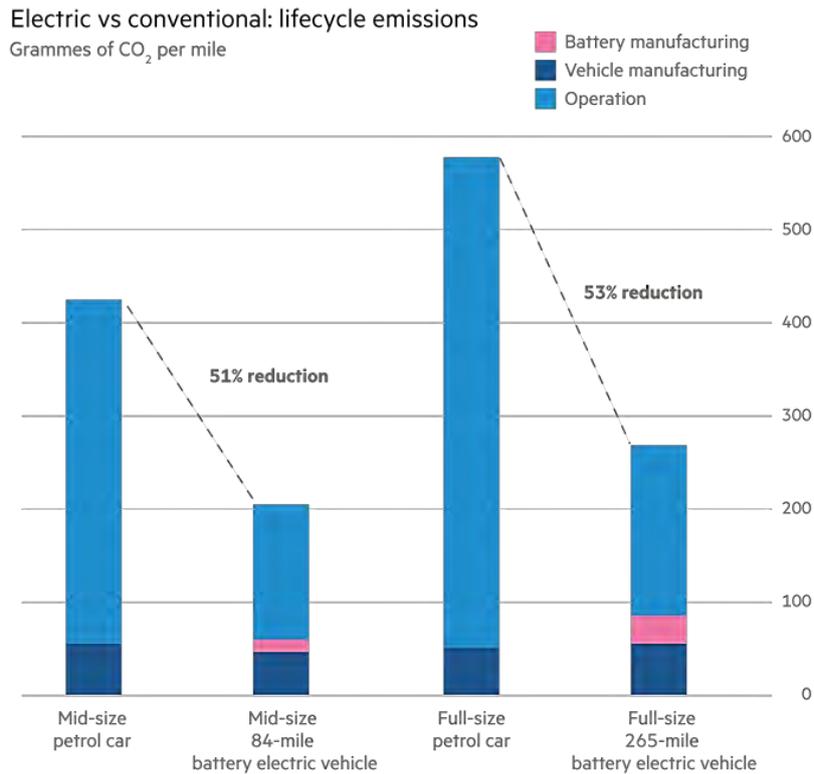


fig. 7 – Comparación en el ciclo de vida de ICE con el VE [6]

A partir de la discusión anterior, surge que un factor relevante es el origen de la energía utilizada por alimentar los VE en cuanto a su producción y uso. La figura 8 muestra que la producción de energía renovables representa el 26,2 % del total producido.

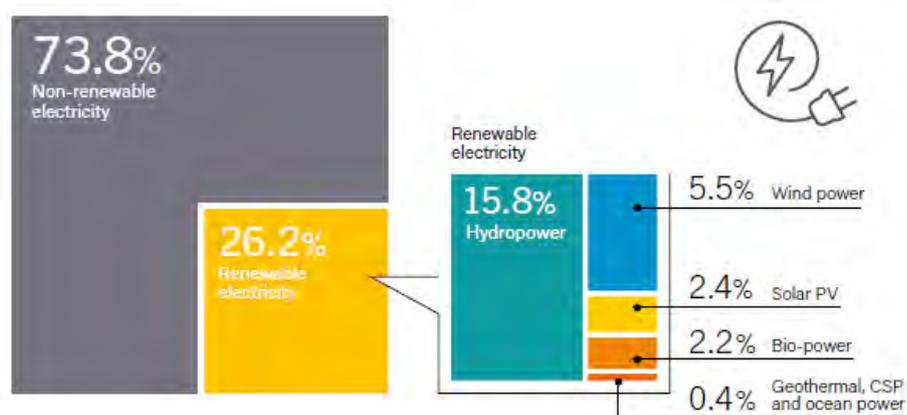


fig. 8 – Distribución de origen de la generación global estimada de energía [2].



Entonces, como las fuentes de energía no renovables, provienen, básicamente, del carbón, petróleo o gas, son fuentes de generación de CO<sub>2</sub>, por lo cual, impacta fuertemente en la trazabilidad del carbono, incluso, en la recarga de un VE, también se va a ver considerablemente afectado.

### 1.3. Interferencia Electromagnética

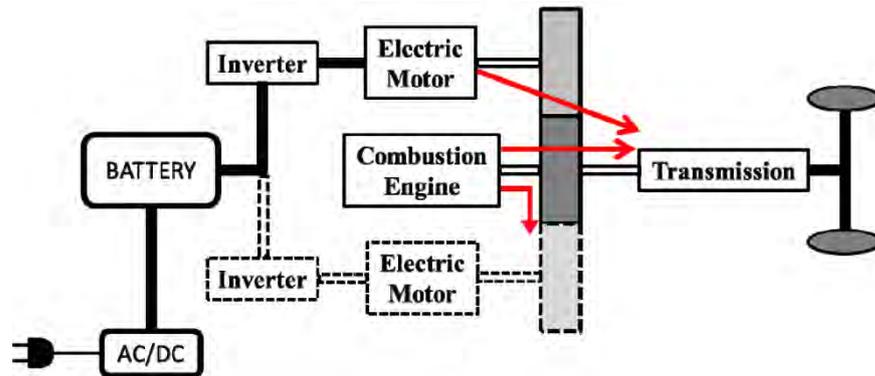
Según Ferran Silva and Marc Aragón [3]: “Con el incremento del uso de vehículos eléctricos e híbridos se deberá tener en cuenta los efectos electromagnética ya que también producirán un nuevo nivel y tipo de interferencias electromagnéticas (EMI) en las calles y rutas”.

La tabla 1 permite comparar la producción de EMI entre un ICE y un VE.

**Tabla 1 – Comparación de fuentes de interferencia [3].**

Tipos de Vehículos	Vehículos de Combustión Interna (ICE)	Vehículos Eléctricos (EV)
<i>Fuentes de interferencia</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema de encendido.</li> <li>- Motores eléctricos y conmutadores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema de conversión AC-DC.</li> <li>- Electrónica conmutación de alta potencia.</li> <li>- Motor de propulsión eléctrica.</li> </ul>
<i>Características EMI</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Generan interferencias de banda angosta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los VE generan interferencias de alto nivel en baja frecuencia.</li> </ul>

Para entender las posibles causas de generación de EMI, en la figura 8 se modeliza el VE en bloques:

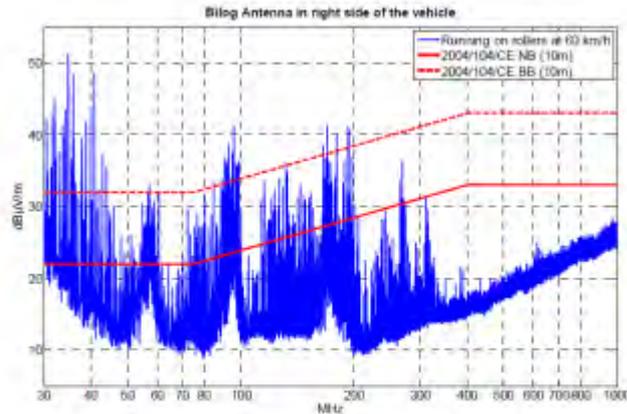


**Fig. 8 – Diagrama en bloques de vehículo eléctrico [3].**

A continuación, en las figuras 9 a, b, c y d, se puede observar las mediciones de interferencia electromagnética bajo diferentes condiciones de cuerdo a la norma CISRP 25 para un vehículo bus híbrido.

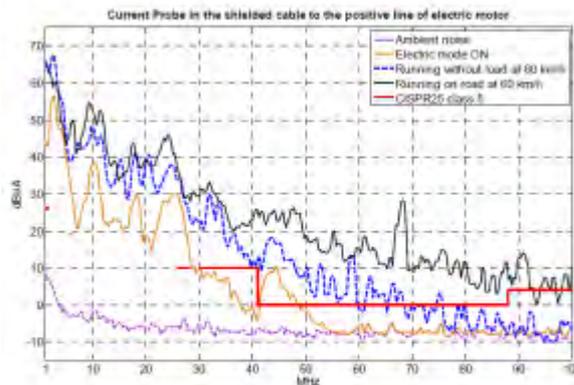


En la figura 9a, se puede observar el espectro de interferencia electromagnética radiada para un dinamómetro en operación pasiva sin carga con los rodillos funcionando a una velocidad de 60 kmtrs/Hr, donde por debajo de los 40 Mhz se superan los límites estipulados por la norma [3].

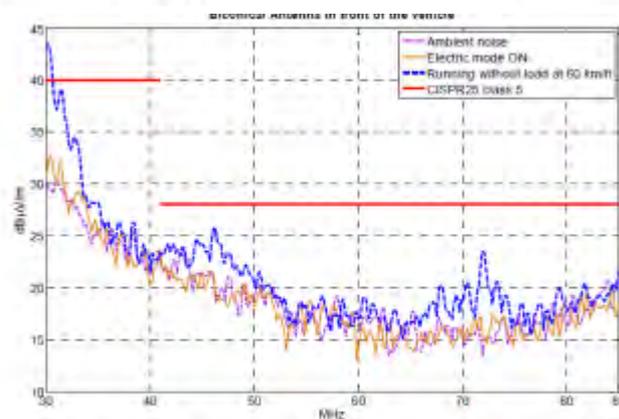


**fig. 9a. Radiated EMI from a chassis Dynamometer in passive operation.**

En la figura 9a, se puede observar la medición de corriente sobre el polo positivo de batería en un vehículo eléctrico, donde debajo de los 40 MHz, los niveles son relativamente altos con respecto al límite superior.



**fig. 9b. Current measurements on the battery electrical engine cable.**



**fig. 9c. Electrical field measured within 30 - 85 MHz**



En la figura 9c. el campo eléctrico medido se encontró dentro de especificación.

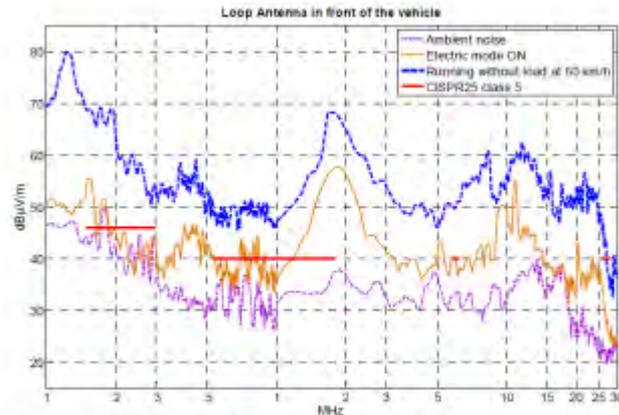


fig. 9d. Magnetic field 1 m away the vehicle.

Para la figura 9c, se puede observar que, en baja frecuencia los campos magnéticos exceden los niveles permitidos por la norma.

#### 1.4. Reciclado

Las tres "R" de la sustentabilidad son Reducir, Reutilizar y Reciclar. Se puede indicar como puntos relevantes del estado de situación actual del reciclado:

- En la Unión Europea, solo se reciclan el 5 % de las baterías de litio.
- Las baterías de los VE, implicarán para el año 2025 el 90 % de las baterías de iones de litio.
- Los productores de las baterías de vehículos eléctricos son responsables por la recolección, gestión y reciclaje.
  - El reciclaje de baterías de litio crecerá a una tasa del 22,1 % anual hasta alcanzar los 23.720 millones de dólares en el 2030.
  - Procesos de extracción o recuperación no maduros por falta de demanda.
  - Uso alternativo de las baterías como soporte de almacenamiento a fuentes de energías renovables.

Es importante destacar que el rendimiento de las baterías de Ion Li empieza a decaer tras siete años de uso por lo cual también es el período esperado para su reemplazo y/o reutilización.

Con esto se abre una nueva necesidad y también un nicho de negocio, que es el reciclado, ya que en la composición de la batería de los VE hay distintos materiales como: Litio, Níquel, Cobalto, Cobre, Aluminio y Grafito.

Tal como los fabricantes de baterías hay pocas dedicadas empresas al reciclado de acuerdo a su ubicación geográfica, las cuales se listan a continuación:

- Jiangxi Ganfeng Lithium o GEM (China)
- Accure (Alemania):
- Umicore (Belgica): Tesla, Renault, Citroen
- Société Nouvelle d’Affinage des Métaux (SNAM Francia): Toyota
- Recupyl (Francia) & Envirobat (España)

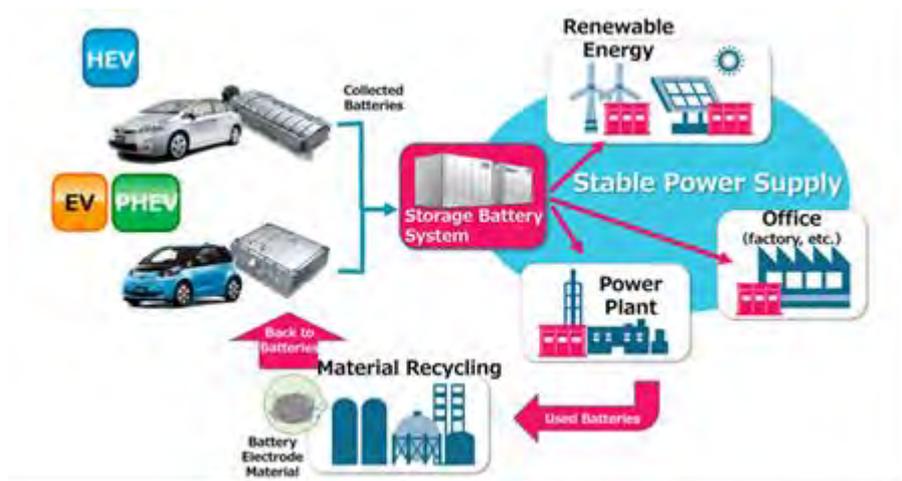
A continuación, pueden nombrarse las empresas que han desarrollado productos con el re-uso de las baterías como Eaton, Powervault (figura 10) y Aceleron.



**Fig. 10 – Power Wall, Batería doméstica de Mercedes, con una capacidad de 2,5 kWh.**

Otro re-uso pensado es para soporte de almacenamiento para energías renovables, por ejemplo, la utilización de baterías usadas del Chevrolet Volt como soporte de potencia en edificio de IT.

También las terminales automotrices han querido dar una segunda vida a estos dispositivos como celdas de almacenamiento de energía en los hogares como soporte para fuentes renovables (figura 11), hasta que su rendimiento las lleve a su reciclado y desarme para recuperar los materiales de interés.



**Figura 11 – Ciclo de vida de las baterías.**

Es muy importante tener en cuenta el impacto ambiental de cada proceso, por ejemplo, en las emisiones gaseosas en cuanto a la trazabilidad de carbono CO<sub>2</sub> como afecta el ciclo de vida de las baterías y sus materiales asociados en comparación a los vehículos basados ICE.

### 1.5. Conclusiones

Las herramientas para el análisis y cuantificación de las emisiones y la trazabilidad de carbono permiten discernir claramente el origen o aporte en la cadena de trazabilidad de carbono, también puede generar controversias en comparación del VE con el de combustión interna, ya que dependiendo si la fuente de generación de energía no es renovable la Electromovilidad no lograría una reducción de CO<sub>2</sub> considerable como sería esperado con respecto al tradicional, pero si en el resto de los GHG y la mejora eficiencia.

Otro aspecto relevante, serían las consideraciones a tener en cuenta para el debido filtrado, apantallamiento y ensayo de las interferencias electromagnéticas, las cuales generan campos magnéticos de baja frecuencia y alto nivel.

En cuanto al reciclado deben aún optimizarse los procesos de re-uso y disposición de los materiales provenientes de las baterías, porque estos pueden afectar negativamente en la trazabilidad de carbono.



## Referencias

- [1] The Intergovernmental Panel On Climate Change Ipcc; Climate Change 2014, Synthesis Report
- [2] Renewables 2019, Global status report.
- [3] Ferran Silva and Marc Aragón, Electromagnetic Interferences from Electric/Hybrid Vehicles, Departament d'Enginyeria Electrònica (DEE), Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona, Spain.
- [4]<https://media.gm.com/media/us/en/gm/home.detail.html/content/Pages/news/us/en/2015/jun/0616-volt-battery.html>
- [5] Chris Mi and M.Abul Masrur, “Hybrid and electric vehicles, Principles and Applications with Practical Perspectives”, Wiley, 2018
- [6] Patrick McGee, “Electric cars’ green image blackens beneath the bonnet”, Financial Times, in Frankfurt November 8, 2017



## Situación de la movilidad eléctrica en Argentina

*Bazan, Joel<sup>a\*</sup>, Lipka, Federico<sup>b</sup>, Crespo, Facundo<sup>c</sup>,  
Rellihan, Matias<sup>d</sup>, Sanchez, Lorenzo<sup>e</sup>, Dusau, Juan U!<sup>f</sup>*

<sup>abcdef</sup> Universidad Tecnológica Nacional UTN-FRGP, Avda. Hipolito Yrigoyen 288, Gral. Pacheco 1617, Argentina

\*Bazan, Joel, [joel.bazan@alumnos.frgp.utn.edu.ar](mailto:joel.bazan@alumnos.frgp.utn.edu.ar)

### ABSTRACT

Vehicles that use internal combustion engines are subject to emission standards increasingly demanding globally, this has led the various companies in the automotive industry to focus on electrification, to comply with these regulations and also ensure their future in the vehicle market.

Unlike other countries in the world, the development of electric mobility in Argentina has two important factors that can boost the growth of electric vehicles in the region, they are: Large lithium reserves in the north of the country and a development of the automotive industry that spans more than 100 years. In this context, Argentina has an excellent potential not only for the manufacture of electric vehicles, but also as a producer of lithium batteries.

This paper presents an analysis of the impacts of the recent state incentives for the market for electric, hybrid and plug-in hybrid vehicles in recent years. It also describes the framework of laws, regulations and / or national and provincial decrees in force, to understand from this perspective, the situation state that will accompany the evolution of sustainable transport in Argentina.

*Keywords: Electric mobility, Legislative framework, Electric vehicles, Hybrids*

### RESUMEN

Los vehículos que utilizan motores de combustión interna están sometidos a normas de emisiones cada vez más exigentes a nivel global, esto ha llevado a las distintas empresas de la industria Automotriz a centrarse en la electrificación de las motorizaciones, para poder cumplir con dichas normativas y además garantizar su futuro en el mercado de vehículos.

A diferencia de otros países del mundo, el desarrollo de la movilidad eléctrica en la argentina cuenta con dos factores importantes que pueden dinamizar el crecimiento de los vehículos eléctricos en la región, ellos son: - Grandes reservas de Litio en el norte del País y -Un desarrollo de la industria automotriz que se extiende por más de 100 años. En este contexto, la argentina presenta un excelente potencial no solo para la fabricación de vehículos Eléctricos, sino también como productor global de baterías de Litio.

Este trabajo presenta un análisis de los impactos que tuvieron los recientes incentivos estatales para el mercado de vehículos eléctricos, híbridos e híbridos enchufables, en los últimos años. Además se describe el marco de leyes, normativas y/o decretos nacionales y provinciales vigentes, para comprender desde esta óptica, el estado de situación que acompañara la evolución del transporte sustentable en la argentina.

*Palabras Clave: Movilidad eléctrica, Marco legislativo, Vehículos Eléctricos, Híbridos*

## 1. Introducción

En el presente artículo académico se aborda como tema la situación de la movilidad eléctrica en el contexto y el territorio argentino. La importancia de tratar esta cuestión reside en varios aspectos: por un lado, existe, a nivel mundial, una preocupación manifiesta acerca de la imperiosidad de poner a las energías renovables al servicio de diferentes formas de movilidad. Por otro lado, se ha comprobado que la movilidad eléctrica es más eficiente y, por eso, optimiza el uso de las energías.

Además, el énfasis en la eficiencia energética es un factor de interés nacional en Argentina; porque se crearon programas fuertemente enfocados a las energías renovables. Como ejemplo, el “Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica, sancionado por la ley 26.190, modificado y ampliado por la ley 27.191, prevé el incremento progresivo de la participación de las fuentes renovables de energía en la matriz eléctrica hasta alcanzar un veinte por ciento (20%) de los consumos anuales totales al 31 de diciembre de 2025” (RESOL-2019-230-APN-SGE#MHA)



En este marco, se considera imprescindible describir el estado de situación de la movilidad eléctrica en Argentina. Se toma el período 2014-2018, debido a que los años previos al 2016, el mercado de vehículos eléctricos en Argentina era prácticamente inexistente en términos de infraestructura de carga y parque automotor de vehículos Híbridos y Eléctricos.

Para ello, en primer lugar, se presenta una cronología respecto del auto híbrido más vendido en nuestro país. En segundo lugar, se expone la situación actual del marco legislativo y regulatorio en el territorio argentino, y se muestran excepciones en cuanto a la disposición de reglamentaciones en algunas provincias. En tercer lugar, se exploran los nombres de las compañías que han importado vehículos con el objetivo de comercializarlos aquí. Para concluir, se presentan reflexiones finales con relación a las oportunidades que esta situación brinda al desarrollo de la movilidad sustentable.

Para llevar adelante este trabajo de investigación y construir el estado del arte sobre esta temática se han analizado diversas fuentes como la información publicada por la Asociación de Concesionarios de Automotores de la República Argentina (ACARA), portales virtuales del gobierno nacional y de gobiernos provinciales y noticias difundidas por distintos medios de comunicación.

## 2. Marco teórico

### 2.1. Evolución de ventas en Argentina (2014-2019)

El mercado argentino fue históricamente resistente a los cambios. La evolución lenta y sutil de las distintas motorizaciones en los vehículos nacionales demuestra el poco camino recorrido dentro de la movilidad sustentable. Desde la llegada de la inyección electrónica, el mundo ha avanzado a pasos agigantados en el control de los motores de combustión, minimizando tanto los efectos de pérdida de potencia, como las emanaciones nocivas para el medio ambiente. Tanto es así que la electrónica en los automóviles se ha ganado un lugar dentro de muchos (actualmente, “todos”) de los subsistemas del automóvil.

La diferencia más notoria desarrollada gracias a los controles electrónicos avanzados fue, en primera instancia, la incorporación de motores eléctricos “de apoyo” al motor de combustión tradicional. Este paso generó el lanzamiento al mercado de los ya conocidos autos híbridos.

En el país, la incorporación de autos híbridos comenzó con la importación de automóviles “híbridos no enchufables”, que disminuyen las pérdidas mecánicas en el freno y el motor de combustión, transformándola en energía eléctrica y transmitiéndola a las ruedas. El crecimiento en los primeros años fue prácticamente insignificante, debido a que la infraestructura y las regulaciones nacionales actuaron por muchos años en detrimento del mercado. Contrariamente a lo sucedido en Argentina, en el mundo se consolidó el mercado de autos híbridos, sentando las bases para los posteriores desarrollos de vehículos “híbridos enchufables” y totalmente eléctricos.

En la siguiente figura se observa la evolución de ventas del Toyota Prius entre 2014 y 2018.

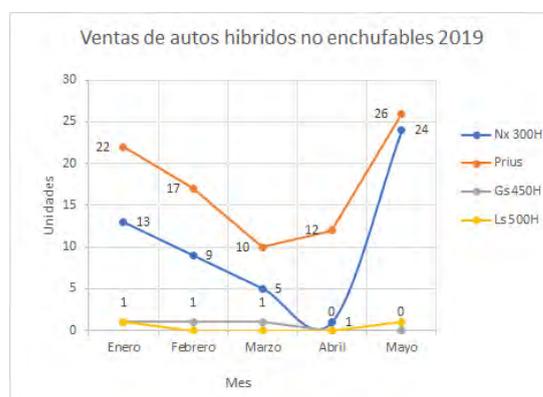


**Figura 1 – Evolución en las ventas del Toyota Prius entre 2014 y 2018**  
Fuente: SIOMAA (ACARA)

Dentro de la motorización combinada, en este artículo se tomará como parámetro principal las ventas del vehículo híbrido más popular: el Toyota Prius. Su lanzamiento en Argentina tuvo lugar en 2009, una época en donde apenas comenzaba a ponerse foco en la movilidad sustentable. Aunque las expectativas fueron altas y el mercado de autos híbridos y eléctricos comenzaba a tomar fuerza mundial, en el país, el bajo porcentaje de ventas provocó el desinterés de las distintas marcas en seguir el camino que comenzó Toyota. Las ventas del Prius se mantuvieron muy bajas hasta el año 2017. A mediados de ese año, se aprobó y entró en vigencia la resolución 536/17, que proveyó un beneficio arancelario a todos los vehículos híbridos y eléctricos vendidos después de su aprobación.



Como parte del crecimiento generado por 536/17, durante el año 2019 se incorporaron al mercado otros híbridos no enchufables por parte de otra marca asociada a Toyota: Lexus, con los modelos NX 300H, LS 500H y GS 450H. En particular, el NX 300H casi llegó a igualar al Toyota Prius en el mes de mayo de 2019, como se muestra en el gráfico a continuación.



**Figura 2 – Ventas de autos híbridos no enchufables durante 2019**  
Fuente: SIOMAA (ACARA)

En los gráficos anteriores se observa el impacto de la resolución en los lanzamientos y ventas de automóviles híbridos. Debido a la llegada de la marca Lexus y sus modelos híbridos no enchufables, el mercado de la movilidad sustentable en Argentina se conforma actualmente por alto porcentaje de este tipo de vehículos.

## 2.2. Marco legislativo actual

En cuanto a las regulaciones, se observa una tenue producción de leyes y reglamentaciones nacionales para facilitar la comercialización de vehículos eléctricos e híbridos, ya sea por falta de: \_Homologación en ciertos segmentos, -Incentivos fiscales, e \_Infraestructura.

Diversas provincias han tomado la iniciativa de promulgar el uso del transporte sustentable, utilizando como referencia la legislación existente en la Unión Europea con el objetivo de simplificar el proceso de homologación y poner en práctica el uso de esta clase de vehículos lo antes posible. Existe una diversidad de Proyectos de Ley que permanecen sin efecto práctico aún para el fomento de la movilidad sustentable –uso de vehículos eléctricos e híbridos. El Proyecto de Ley “Expediente 1279-D-2018” titulado “Ley de promoción de la industria de Vehículos Eléctricos. Fabricación, reconversión y autopartes” propone la creación de diversos organismos individuales con tal fin, como un programa de financiación tanto para la adquisición de vehículos eléctricos como para la financiación de nuevos emprendimientos de esta clase, estabilidad fiscal por 10 años y una desgravación del 60% del impuesto a las ganancias para actividades que involucren gastos de investigación y desarrollo, procesos de certificación de calidad y/o exportaciones.

Asimismo, el expediente 6075-D-2018 titulado “Promoción de Vehículos Eléctricos y Alternativos” busca reducir hasta un 90% las alícuotas del Impuesto a las Ganancias y del IVA por un período de 8 años para organismos que produzcan vehículos nuevos, repuestos o herramientas en el rubro mencionado únicamente si cuentan con el denominado “contenido mínimo nacional” conforme a lo dictado en la Ley N°27.263. De todos modos, en el presente texto se desarrollarán únicamente los contenidos que refieren a leyes, normativas y/o decretos nacionales y provinciales actualmente en vigencia a fin de comprender el panorama real y la situación de las tecnologías alternativas para la motopropulsión.

Para el caso de Santa Fe, en octubre de 2018, se sancionó la Ley N°13.781 con el objetivo de fomentar el uso de vehículos eléctricos y alternativos. Un breve resumen de la legislación se detalla a continuación:

- Exención del pago de patentes para vehículos fabricados en la región o que cumplan con requisitos de integración local por diez años.
- Exención del pago de impuestos “ingresos brutos” por diez años.
- Fomentar la integración de organismos civiles, universidades y la creación de centros tecnológicos para el desarrollo de la industria de movilidad alternativa.

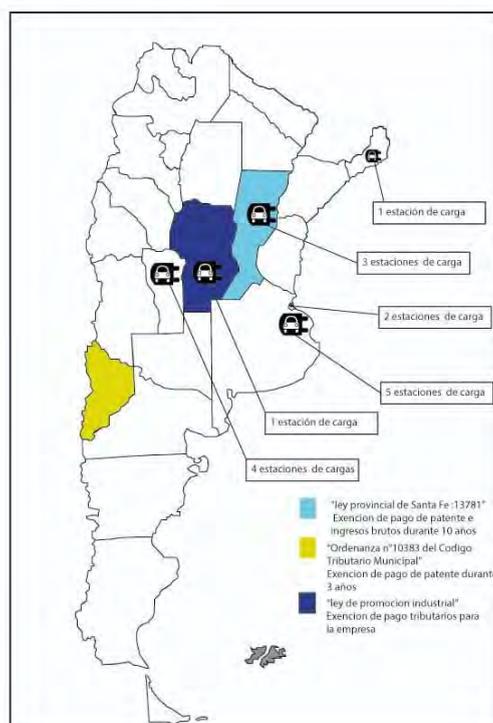
A través de la Empresa Provincial de Energía (EPE) se han instalado dos puntos de carga para EVs (Vehículos Eléctricos) con una inversión de aproximadamente US\$10.000, separados por una distancia de 72km en donde los usuarios de EVs, radicados en Santa Fe, podrán recargar las baterías de forma gratuita durante el primer año [1]. A modo de referencia, Uruguay, a fines de 2018, logró completar la instalación de ocho puntos



de carga a lo largo del corredor Sur que une Colonia con Chuy (492km), con potencias de carga de 22kW o 43kW [2].

San Luis fue la primera provincia de la Argentina en inaugurar una autopista eléctrica en noviembre de 2018, ubicada en un trazado de 212km de la ruta 7, denominada “Autopista de las Serranías Puntanas”. Está compuesta por seis puntos de carga en los peajes de Desaguadero, La Cumbre y José Daract, cada una con dos estaciones de 22kW de la marca SCAME, y los usuarios abonarán el costo de la carga allí mismo. Según la provincia, se requirió de una inversión total de aproximadamente US\$10.000 [3].

La provincia de Neuquén también se vio beneficiada con la aprobación de la Ordenanza N°10.383 del Código Tributario Municipal que deja exentos del pago de patente a vehículos eléctricos e híbridos por un período de 3 (tres) años desde la inscripción en la provincia, donde en la actualidad hay solamente cuatro de estos vehículos patentados [4,5]. La petrolera estatal YPF realizó un acuerdo, en 2017, con la empresa privada proveedora de electricidad Edesur para la instalación de 220 surtidores eléctricos en sus estaciones de servicios, pero debido a un conflicto interno solo se han concretado hasta ahora dos en CABA, todavía sin precio de carga definido y de funcionamiento intermitente, según los usuarios. Los surtidores son de carga rápida y fueron desarrollados por ABB. Poseen tres de los protocolos más comunes del mercado (CCS; CHadeMo y AC). YPF proyecta la instalación de carga en 110 de sus estaciones de servicio. Por otro lado, Panamerican Energy (Axion) se asoció con la empresa Enel para que le provea de cargadores que por el momento son de uso gratuito [6,7].



**Figura 3- Legislación vigente por provincia y distribución de puntos de carga**

Mediante el decreto 331/2017 [8], fechado en mayo de ese año, se estableció un acuerdo entre el gobierno y las automotrices locales para la reducción transitoria de Derechos de Importación Extrazona por un período de 36 meses a partir de su publicación, con un cupo total máximo de 6.000 unidades. Inicialmente, el decreto solamente beneficiaba a las automotrices con producción nacional según la Ley N° 21.932 (hasta la fecha: FCA, Ford, GM, Honda, Iveco, Mercedes-Benz, PSA, Renault, Scania, Toyota y Volkswagen), pero recientemente en marzo del presente año, bajo el decreto 230/2019 [9-11], se modificó aquella disposición para contemplar por igual a todas las empresas automotrices, sin discriminar entre las que poseen fábricas en el país y las que son únicamente de carácter “importadora”. Esta norma alcanza a las empresas con derechos de importación de vehículos eléctricos, híbridos y de celda de combustible tanto CBU, SKD como CKD. De esta manera quedan reducidas las alícuotas del Derecho de Importación Extrazona (D.I.E., fuera del MERCOSUR) a la clase de vehículos anteriormente mencionada (respecto del gravamen de 35% que regía previamente) de la siguiente forma:

- 5% para vehículos del tipo CBU (“Complete Built Unit” - unidades completamente armadas)
- 2% para vehículos del tipo SKD (“Semi Knocked-Down” – unidades semidesarmadas)



- 0% para vehículos del tipo CKD (“Complete Knocked-Down” - unidades completamente desarmadas)

Con el presente régimen el gobierno busca impulsar no solamente la comercialización de vehículos de propulsión alternativa de forma más competitiva, sino que también fomentar el desarrollo de la industria nacional en el sector de ensamblaje, así como el autopartista. El decreto aclara que las 6.000 unidades autorizadas por el gobierno para ser importadas, con el régimen recién mencionado, se distribuirán de a 500 unidades por trimestre durante el período de 36 meses estipulado desde la sanción del decreto (mayo de 2017), siendo acumulables los cupos solicitados y asignados a cada automotriz.

A efectos prácticos se han relevado datos de cupos solicitados y otorgados a cada automotriz en el período 7/2017 - 8/2019, bajo el decreto N° 331/2017 [12-20]:

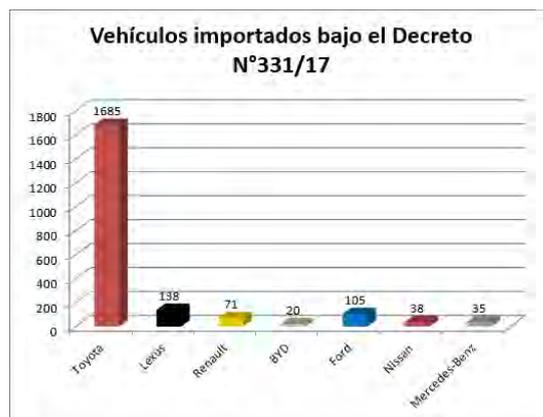


Figura 4- Marcas y cantidad de vehículos importados bajo el decreto Nro. 331/17



Figura 5- Total de importaciones por período trimestral

A continuación, se detallan las unidades autorizadas a importación en el período 07/2017 - 08/2019 por terminal automotriz y modelo comercializado:

- CTS AUTO S.A. - BYD e5 (20 unidades)
- FORD ARGENTINA S.C.A. – Mondeo Hybrid (105 unidades)
- MERCEDES BENZ ARGENTINA S.A. – GLC 350e4MATIC (35 unidades)
- NISSAN ARGENTINA S.A. - LEAF Tekna (38 unidades)
- RENAULT ARGENTINA S.A. - Kangoo ZE, incluidas las Maxi 2A (71 unidades)
- TOYOTA ARGENTINA S.A. - Prius 1.8 CVT (843 unidades); RAV4 Hybrid (842 unidades)
- TOYOTA ARGENTINA S.A. - Lexus IS300h (36 unidades); Lexus GS450h (22 unidades); Lexus LS500h (9 unidades); Lexus NX300h (71 unidades)

Cabe destacar que en enero de 2019 se estableció mediante la Resolución 15/2019 [21] que todo vehículo que cumpla con la reglamentación vigente en la Unión Europea (ya sea fabricado allí o importado del Viejo



Continente para ser comercializado) tendrá automáticamente la homologación para ser comercializado en la Argentina y la marca solamente deberá completar los permisos correspondientes. Se sobreentiende que la Unión Europea posee controles mucho más rigurosos y exigentes en materia de seguridad y normas anti-contaminación, por lo que los productos homologados allí cumplen completamente con las normas vigentes en la Argentina. Esta “desburocratización” permite agilizar el trámite para que sea completado en menos de una semana, cuando antes tenía una duración aproximada de 6 meses, o incluso mucho más. La presente resolución evitará posibles inconvenientes que puedan surgir por desconocimiento y/o falta de equipamiento para realizar controles y ensayos por parte del ente que homologa vehículos de características completamente distintas como son los de propulsión eléctrica.

### 3. Reflexiones finales

En resumen, siendo la Argentina un país Federal, se permite que las provincias puedan sancionar independientemente sus propias leyes mientras no afecten y/o modifiquen a ninguna de carácter nacional. Tales son los casos como Santa Fe y Neuquén que tomaron la iniciativa para comenzar a reglamentar formalmente el marco legal para los vehículos eléctricos en particular, por más que tanto otras provincias como el gobierno nacional hayan decretado “interés” por las nuevas tecnologías de propulsión, sin llegar a ser concretadas por el momento, aunque han sido de gran utilidad para la sanción de posteriores decretos/resoluciones. Lo mismo sucede con un sinnúmero de Proyectos de Ley que aún no han sido aprobados, aunque cabe destacar que en el transcurso de últimos años se ha avanzado considerablemente la reglamentación no solo dentro de ciertas provincias, sino que también a nivel nacional con la sanción del Decreto N°331/17, con su respectiva Resolución N°536/17 que determina un cupo para importación de vehículos eléctricos e híbridos con aranceles diferenciales como se ha explicado en el desarrollo. Todavía quedan muchos obstáculos por superar si se busca lograr que Argentina logre tener un mercado automotor que incorpore un significativo número de vehículos con propulsión alternativa. El marco legislativo es el primer paso para fomentar la actividad, pero debe ser acompañado de inversiones en la infraestructura como instalación de puestos de recarga y personal especializado.

Existe un dilema entre las automotrices y autoridades que “culpan” la existencia del bajo número de coches eléctricos en Argentina; las primeras sostienen que no hay suficiente demanda por falta de infraestructura, mientras que la segunda se justifica en que no invierten en infraestructura porque no hay suficientes usuarios que la puedan aprovechar. El costo, incluso, es un factor no menor, por eso en gran parte de países desarrollados, el Estado fomenta la comercialización de vehículos de esta índole otorgando beneficios a los usuarios que comprenden descuentos o financiación en la compra, exención de pago de determinados impuestos, permiso para circular por zonas restringidas de la ciudad, entre tantas otras más. Por otro lado hay pequeñas empresas nacionales como Sero Electric y Volt Motors que apostaron a la fabricación de coches eléctricos, que si bien necesitan desarrollo e inversiones a futuro, es una excelente manera de comenzar con la actividad.

### 5. Referencias

- [1] Revista Parabrasis (24 de mayo de 2019). “Santa Fe ya tiene su primera autopista eléctrica”. <https://parabrasis.perfil.com/noticias/novedades/santa-fe-ya-tiene-su-primera-autopista-electrica.phtml> (consultado el 29/5/2019)
- [2] Portal Surtidores (22 de noviembre de 2018). “Con la incorporación de las estaciones ANCAP de Rocha y Chuy, se completa “la ruta eléctrica de la costa” en Uruguay”, Surtidores.uy <https://surtidores.uy/con-la-incorporacion-de-las-estaciones-ancap-de-rocha-y-chuy-se-completa-la-ruta-electrica-de-la-costa-en-uruguay/> (consultado el 29/5/2019)
- [3] Treguer, F. (21 de noviembre de 2018). “San Luis inauguró la primera Autopista Eléctrica del país”, autocosmos.com <https://noticias.autocosmos.com.ar/2018/11/21/san-luis-inauguro-la-primera-autopista-electrica-del-pais/>
- [4] Del Pozzi, M. (26 de mayo de 2019). “La hora de los autos eléctricos llega a la región con incentivos”, Rio Negro. <https://www.rionegro.com.ar/la-hora-de-los-autos-electricos-llega-a-la-region-con-incentivos-990365/> (consultado el 29/5/2019)
- [5] Todo Noticias. (15 de mayo de 2019). “En qué provincia argentina no pagarán patente los autos eléctricos e híbridos”, TN.com.ar [https://tn.com.ar/autos/lo-ultimo/en-que-provincia-argentina-no-pagaran-patente-los-autos-electricos-e-hibridos\\_962493/](https://tn.com.ar/autos/lo-ultimo/en-que-provincia-argentina-no-pagaran-patente-los-autos-electricos-e-hibridos_962493/) (consultado el 26/5/2019)



- [6] Sanguinetti, A. (5 de noviembre de 2018). “Los dueños de Edesur se asocian a los Bulgheroni para instalar surtidores eléctricos”, iProfesional.  
 <<https://www.iprofesional.com/negocios/280883-nafta-electricidad-renault-Los-duenos-de-Edesur-se-asocian-a-los-Bulgheroni-para-instalar-surtidores-electricos>> (consultado el 29/5/2019)
- [7] Cristóbal, C. (18 de diciembre de 2018). “Axion le ganó a YPF: inauguró sus cargadores eléctricos, son gratuitos y los estrenó Autoblog”, autoblog.com.ar  
 <<https://autoblog.com.ar/2018/12/18/axion-le-gano-a-ypf-inauguro-sus-cargadores-electricos-son-gratuitos-y-autoblog-ya-los-uso/>> (consultado el 24/5/2019)
- [8] DECRETO N° 331/2017. Información Legislativa - Ministerio de Justicia y DD.HH., Presidencia de la Nación, República Argentina, mayo de 2017.  
 <<http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/270000-274999/274610/norma.htm>> (consultado el 1/6/2019)
- [9] DECRETO N° 230/2019. Información Legislativa - Ministerio de Justicia y DD.HH., Presidencia de la Nación, República Argentina, marzo de 2019.  
 <<http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/320000-324999/321558/norma.htm>> (consultado el 1/6/2019)
- [10] DECRETO N° 230/2019. Cámara Argentina de Comercio y Servicios - Régimen Automotriz.  
 <[https://www.cac.com.ar/data/documentos/30\\_Dec.%20230-19.pdf](https://www.cac.com.ar/data/documentos/30_Dec.%20230-19.pdf)> (consultado el 1/6/2019)
- [11] DECRETO N° 230/2019. Boletín Oficial de la República Argentina, Secretaría Legal y Técnica, marzo de 2019  
 <<https://www.boletino.official.gob.ar/detalleAviso/primer/204339/20190329>> (consultado el 1/6/2019)
- [12] Centro de Despachantes de Aduana de la República Argentina - Régimen reducción del DIE Automotriz, septiembre de 2017  
 <[http://www.cda.org.ar/detalle\\_noticia.php?id=36103](http://www.cda.org.ar/detalle_noticia.php?id=36103)> (consultado el 1/6/2019)
- [13] Disposición 9-E/2017 Información Legislativa - Ministerio de Producción, Subsecretaría de Industria, octubre de 2017  
 <<http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/280000-284999/282032/norma.htm>> (consultado el 1/6/2019)
- [14] Centro de Despachantes de Aduana de la República Argentina - Régimen reducción del DIE Automotriz, enero de 2018  
 <[http://www.cda.org.ar/detalle\\_normativa.php?id=410](http://www.cda.org.ar/detalle_normativa.php?id=410)>
- [15] Centro de Despachantes de Aduana de la República Argentina - Régimen reducción del DIE Automotriz, abril de 2018  
 <[http://www.cda.org.ar/detalle\\_normativa.php?id=410](http://www.cda.org.ar/detalle_normativa.php?id=410)>
- [16] Centro de Despachantes de Aduana de la República Argentina - Régimen reducción del DIE Automotriz, agosto de 2018  
 <[http://www.cda.org.ar/detalle\\_normativa.php?id=715](http://www.cda.org.ar/detalle_normativa.php?id=715)>
- [17] Centro de Despachantes de Aduana de la República Argentina - Régimen reducción del DIE Automotriz, octubre de 2018  
 <[http://www.cda.org.ar/detalle\\_normativa.php?id=969](http://www.cda.org.ar/detalle_normativa.php?id=969)>
- [18] Centro de Despachantes de Aduana de la República Argentina - Régimen reducción del DIE Automotriz, enero de 2019 <[http://www.cda.org.ar/detalle\\_normativa.php?id=1275](http://www.cda.org.ar/detalle_normativa.php?id=1275)>
- [19] Cámara Argentina de Comercios y Servicios, abril de 2019  
 <[https://www.cac.com.ar/data/documentos/53\\_Disp.%20DNI%20158-19.pdf](https://www.cac.com.ar/data/documentos/53_Disp.%20DNI%20158-19.pdf)>
- [20] Boletín Oficial de la República Argentina, Secretaría Legal y Técnica, abril de 2019  
 <<https://www.boletino.official.gob.ar/detalleAviso/primer/205959/20190422>>
- [21] Ministerio de Producción y Trabajo, Resolución 15/2019, enero de 2019  
 <<http://aaip.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-15-2019-319512/texto>>



## IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DE LA ELECTROMOVILIDAD

*Julio Alfonso Rodríguez, Dino Otero*

*UTN FRGP, Av. Hipólito Yrigoyen 288, General Pacheco (Tigre) 1, Argentina  
Julio Alfonso Rodríguez, julio.alfonso.rodriguez64@gmail.com*

### ABSTRACT

In the last decade, interest in electromobility has reappeared. Multiple factors affect this revival, particularly of electric cars. We will establish here the different factors of incidence both in the economic activity and in the social changes that would imply a massive use of this type of mobility. Some evaluations, in particular the impact of the fuel change, are analyzed in some detail. The rest of the possible changes are mentioned and will remain as a study for a master's thesis.

*Keywords: Electromobility, mobility, electric cars, economy, social impact*

### RESUMEN

En la última década ha reaparecido el interés por la electromovilidad. Múltiples factores inciden para este resurgimiento, en particular de los autos eléctricos. Estableceremos aquí los diversos factores de incidencia tanto en la actividad económica como en los cambios sociales que implicaría un uso masivo de este tipo de movilidad. Algunas evaluaciones, en particular el impacto del cambio de combustible, se analizan con algún detalle. El resto de los posibles cambios se mencionan y quedarán como estudio para una tesis de maestría.

*Palabras Clave: Electromovilidad, movilidad, auto eléctrico.*

## 1. Introducción

El siglo XX y ahora el siglo XXI se han caracterizado por los impactos económicos y sociales que generan las nuevas tecnologías. Inicialmente debían pasar años antes que el impacto se sintiera, pero luego el tiempo comenzó a reducirse. Veamos desarrollos relativamente recientes de alto impacto:

El láser, la PC, Internet, el celular, la antena fractal multibanda, el pen drive ...

Cada uno de estos desarrollos implicó profundos cambios en lo económico y en lo social: Desaparecieron tocadiscos, máquinas de escribir, fax, teletipo, perforverificadores, cintas magnéticas, discos 6"1/4, 3"1/2, DVD, diarios impresos, impresoras de punto, casetes... La lista es enorme. Todo esto pasó en poco más de 30 años. Por lo cual desaparecieron empleos, quebraron grandes empresas y se generaron nuevas oportunidades. Estos cambios fueron relativamente abruptos. En cambio la electromovilidad ha sido algo errática en su desarrollo y hasta el presente no generó grandes cambios. Veamos rápidamente su historia<sup>1</sup>:

1.- En 1837 Thomas Davenport patentó el motor eléctrico. Pero el costo de las baterías y las presiones de las petroleras detuvieron el desarrollo.

2.- En 1859 Gastón Planté inventó la batería de plomo-ácido, que podía recargarse.

3.- El primer tranvía eléctrico fue puesto en servicio por Werner von Siemens, Berlín 1879, los tranvías y los trenes no requerían de baterías y hasta el día de hoy se siguen usando, sin profundas innovaciones, salvo la levitación magnética y los trenes bala.

A principios del Siglo XX, existían en el mundo 19 fabricantes de vehículos eléctricos. Las ventas en Estados Unidos mostraban que de los 4.200 vehículos vendidos, el 38% eran eléctricos, un 40% a vapor y el 22% a gasolina<sup>1</sup>. Pero



Henry Ford con su cadena de montaje en serie provocaron una bajada de precios en sus modelos de combustión. En 1990 hubo una nueva arremetida del auto eléctrico que fue rápidamente frenada. Pero, como ya se señaló, actualmente estamos asistiendo a un revivir importante de la movilidad eléctrica. Presentaremos aquí los principales ejes en que se basará el plan de investigación para la Maestría en Administración de Negocios de Julio Alfonso Rodríguez.

## 2. Factores de incidencia social y económica

### 1. Eficiencia en el uso de la energía

Para establecer el impacto energético si el parque automotor pasara en su totalidad, de combustión interna a electromovilidad, se debe analizar la eficiencia de una central termoeléctrica respecto de los motores eléctricos. Aquí realizaremos un análisis simple; por ejemplo no discriminaremos entre centrales termoeléctricas, nucleoeeléctricas, hidroeléctricas, solares y eólicas. El análisis será en consecuencia muy conservativo y evaluaciones con mayor detalle quedarán para la tesis de maestría. Veamos entonces los resultados de la tabla I<sup>2</sup>:

Tipo de motor	Eficiencia
Diésel	0,40
Naftero	0,30
Eléctrico	0,75
Central a gas	0,60
Central a gas y motor eléctrico	$0,60 \times 0,75 = 0,45$

Muy groseramente el motor eléctrico, que deberá recibir su carga de una central, posiblemente alimentada a gas, supera en eficiencia al motor diésel por un exíguo 5%. Obsérvese, sin embargo, que no hemos incluido aún la disminución de eficiencia del motor diésel debido a que el combustible líquido requiere de camiones para ser repartido. Aquí se hace necesario un estudio más profundo de los gastos de distribución del combustible líquido respecto de las pérdidas de transmisión de energía eléctrica. Seguramente el saldo será a favor de la transmisión de electricidad. El impacto en el cambio del uso de la energía será, fundamentalmente económico.

### 2. Cambio en el tipo de combustible

Estimamos que este será el mayor impacto tanto económico como social. Primero hay que considerar la venta de combustible líquido en la Argentina, fundamentalmente orientado a la alimentación de automotores<sup>3</sup>. La venta anual de combustible líquido en la Argentina para automotores es  $1,8 \times 10^{10}$  litros (gasoil y nafta). Redondeando las eficiencias de los vehículos nafteros y diésel, tendríamos una diferencia de eficiencia del 10%, es decir se ahorrarían  $1,8 \times 10^9$  litros por año. No se analizarán aquí, por ahora, el impacto de ahorro de combustibles fósiles (indispensables para la aviación!) ni la diferencia en la polución ambiental. Entonces asumiendo una precio promedio de un US\$ por litro, se ahorrarían, 1800 millones de dólares por año. Como contrapartida desaparecerían las estaciones de servicio, con pérdidas de empleos y un colapso económico equivalente a 18000 millones de dólares. Poniendo esta cifra en los términos que suele medirse actualmente los miles de millones de dólares:

**Se podrían construir 124 escuelas por año.**

Este es un proyecto del Gobierno, que detectó la necesidad de construir 3000 jardines de infantes para 600000 niños de 3 años que actualmente no lo tienen. Justamente planean construir 124 escuelas este año<sup>4</sup>.

Obviamente habrá una reconvención laboral aunque, la carga de combustible en la electromovilidad NO demanda



intervención humana!

Sin embargo, se requerirá un replanteo de la distribución de electricidad en función de la nueva demanda. Los litros de combustibles se convertirán en carga eléctrica. Eso demandará una mayor producción de electricidad y un refuerzo en las instalaciones, lo cual se deberá evaluar adecuadamente.

### 3. Desarrollo industrial.

El país perdió la carrera en la producción nacional de motores a explosión pero, dada la simplicidad de construcción de los motores eléctricos, es muy posible una activación de la fabricación de estos motores en la Argentina. Ya se debiera estar estimulando desde el Estado este desarrollo. Tenemos aquí un impacto económico y social.

### 4. Desarrollos tecnológicos con proyección industrial.

Promover y coordinar la investigación en la producción y las mejoras en la fabricación de baterías con el propósito de aprovechar nuestras reservas de litio. El litio se está exportando en bruto, es decir sin purificación. Desde esta pobrísima realidad hasta la fabricación de batería existe una larga y complicada evolución tecnológica que la Argentina debe vencer. Justamente en este Congreso se presenta una conferencia sobre la importancia de dar valor agregado a nuestras reservas de litio: VALOR AGREGADO EN LA CADENA DE PRODUCCIÓN DE LITIO: SU IMPACTO EN LA ELECTROMOVILIDAD, Dr. Walter Legnani. UTN-FRBA.

### 5. Investigación científica tecnológica.

Existen dos tipos de motores eléctricos: los de bobinas, normalmente con hilo de cobre y con poca cantidad de **tierras raras**, y los de imanes permanentes, que usan mucho más **tierras raras**. El **monopolio** de las **tierras raras actualmente es chino**. En consecuencia, se deberá promover y coordinar la investigación geológica de yacimientos de tierras raras en la Argentina y/o la posibilidad de reciclaje o sustitución. El núcleo de imán permanente que se logra usando fundamentalmente el neodimio permite construir motores eléctricos más eficientes. Esto depende de muchos factores y la investigación no está cerrada. Los elementos requeridos para imanes permanentes son caros y sólo los tienen algunos países. Consecuentemente se deberá incrementar la investigación tecnológica en la construcción de motores eléctricos más eficientes.

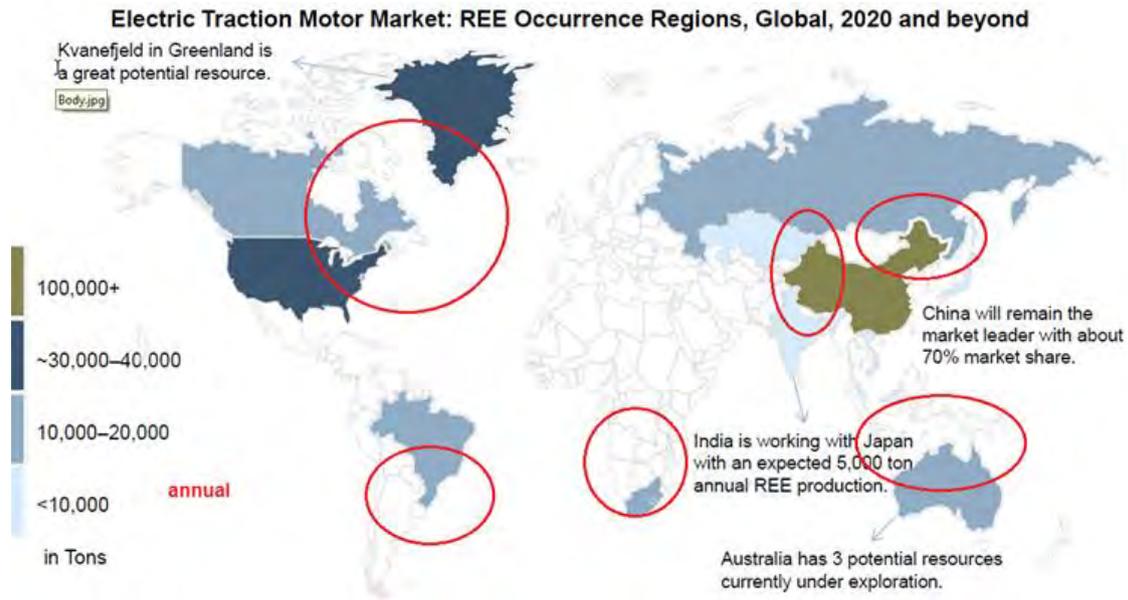


Figura 1: En óvalos rojos hemos indicado posibles lugares donde, mediante adecuada prospección hubiera tierras raras, indispensables para motores eléctricos de alto rendimiento.

Por otra parte, Toyota ha desarrollado el primer imán del mundo termorresistente y con menos neodimio, metal sólido de las tierras raras, lo que reducirá la utilización de tierras raras críticas en torno a un 50%. Este imán, de nuevo desarrollo, **no utiliza terbio (Tb) ni disprosio (Dy)**, que son tierras raras también categorizadas como materiales críticos necesarios para los imanes termorresistentes de neodimio. Argentina debiera investigar en este campo. Una parte del neodimio ha sido **sustituida por lantano (La) y cerio (Ce)**, que son tierras raras de menor coste, con lo que disminuye la cantidad de neodimio empleada en el imán para la fabricación de motores eléctricos<sup>5</sup>.

## 6. CONCLUSIONES

Hemos planteado varias situaciones en las cuales se producirá un gran impacto económico y social cuando la electromovilidad sea una realidad en nuestro país. En el desarrollo de la tesis de maestría de Julio Alfonso Rodriguez se profundizarán los aspectos señalados en este trabajo:

1. Impacto económico y social del cambio de combustible fósil a electromovilidad.
  - 1.a) Desaparición de Estaciones de Servicio: impacto económico y social.
  - 1.b) Replanteo de la distribución de energía eléctrica, impacto económico.
2. Reactivación de la industria de motores eléctricos: impacto económico y social.
3. Nuevas investigaciones tecnológicas:
  - 3a. Desarrollo de la industria del litio y de las baterías: impacto económico y social.
  - 3b. Desarrollo de motores eléctricos más eficientes: Impacto social y económico.



3c. Desarrollo de la prospección geológica de las tierras raras, impacto social con futuro impacto económico.

### Referencias

- [1] <http://electromovilidad.net/historia-del-vehiculo-electrico/>
  - [2] <https://www.diariomotor.com/tecmovía/2012/10/02/los-limites-de-la-eficiencia-termica-en-motores-gasolina-y-diesel/>
  - [3] <https://www.surtidores.com.ar/>
  - [4] INFOBAE, 17-07-2019
  - [5] <https://www.cienciasambientales.com/es/noticias-ambientales-toyota-uso-tierras-raras-criticas-iman-termorresistente-motores-electricos-15461>
-



# Industria Autopartista, frente al reto del Vehículo Eléctrico

*Pedro Urdaniz<sup>a</sup>, Facundo Tochi, Merced Guillén<sup>b,\*</sup>*

*\*Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Gral. Pacheco, Av. Hipólito Irigoyen 288, General Pacheco 1617, Argentina*

*\*Dirección de correo electrónico: merce.guillengarces@gmail.com*

## ABSTRACT

The main objective of this paper is to analyze today's Argentinian scenario and position regarding the manufacture of the most significant internal combustion vehicle components, having a primary focus over the gearbox, to acknowledge whether they are imported or fabricated locally and the impact they bring to this nation's balance of trade. From this analysis we will be looking to identify and propose situations which would be the most likely or beneficial for EV (Electric Vehicles) parts logistics, taking the battery as the most important component for this study, and its importance for the country's economy and development.

*Keywords: gearbox, battery, automotive, logistics.*

## RESUMEN

*El objetivo de este trabajo es analizar la situación actual en la Argentina en términos de la fabricación de los componentes principales del automóvil a combustión interna, concretamente la caja de cambios, ver si son importados o fabricados en la Argentina, cuál es la incidencia en la Balanza Comercial y el mapeo del sector. A partir de este análisis se busca plantear qué pasaría con la Logística de autopartes para el VE (Vehículo Eléctrico), en relación principalmente a la batería (dado que ya no habría caja de cambios) y su importancia para la economía y desarrollo del país.*

*Palabras Clave: caja de cambios, batería, automotriz, logística.*

## 1. Introducción

Dentro de las exportaciones de autopartes y para el año 2017, la posición arancelaria más exportada por Argentina es la 8708.40: Cajas de cambio y sus partes. Las ventas de estos productos alcanzaron un valor superior a los 500 millones de dólares, con un aumento interanual del 11%, representando el 81% de las exportaciones en 2017. Los principales importadores de esta posición son Brasil y Alemania, destacando Brasil con más de un 50% del valor total de la exportación. La industria autopartista, constituye un área estratégica no sólo porque supone un considerable aporte en términos de producción, empleo y exportaciones, sino también por las sinergias que genera en el complejo productivo del país. Por ello es importante prever que pasará cuando llegue el VE al país, quienes serán los proveedores de componentes, serán los que hay hoy en el mundo o las empresas que se instalen con la tecnología para baterías y motor eléctrico en la Argentina.

## 2. Origen y Destino autopartista hoy

### 2.1. Balanza Comercial



Según datos de la AFAC (Asociación de Fábricas Autopartista de Componentes); el **déficit comercial** de autopartes en 2017 ascendió a **6.710 millones de dólares, creciendo un 15,4%** con relación a 2016, lo que representa casi el 80% del déficit comercial de la Argentina. **Las exportaciones** de autopartes en 2017 alcanzaron **los 1.641 millones** de dólares, **aumentando el 8,6%** respecto al año anterior, lo que refleja la adecuación parcial de los reintegros a las exportaciones y cierta suba de la demanda brasileña. **Las importaciones crecieron el 14%** en 2017 con relación a 2016, alcanzando los **8.351 millones** de dólares. Dicho crecimiento resulta muy superior al aumento de la producción de vehículos que fue de sólo el 1% en el mismo período. Este último dato es importante dado que significa un cambio en la relación directa entre producción de automóviles y aumento de importaciones de autopartes, suponiendo un **cambio en la estructura productiva interna de autopartes.**

**Tabla 1 – Balanza comercial global de autopartes**

Período	Año 2017				Saldo Balance. Comercial US\$ mill.
	Exportaciones		Importaciones		
	US\$ mill. FOB	Cantidad de destinos	US\$ mill. CIF	Cantidad de orígenes	
2002	1.144	129	1.208	90	-64
2003	1.191	139	1.740	99	-549
2004	1.537	141	2.810	112	-1.274
2005	1.763	142	3.644	121	-1.882
2006	1.936	144	4.736	124	-2.799
2007	2.265	144	6.288	132	-4.022
2008	2.557	142	7.794	115	-5.238
2009	1.928	147	5.339	131	-3.411
2010	2.422	145	8.731	134	-6.309
2011	2.589	140	10.781	137	-8.192
2012	2.548	146	10.198	137	-7.650
2013	2.632	135	10.714	138	-8.081
2014	2.200	145	8.790	128	-6.591
2015	1.654	134	7.984	102	-6.330
2016	1.512	125	7.327	131	-5.815
2017	1.641	133	8.351	154	-6.710

**Notas:** Cifras en millones de dólares (Exportaciones a valores FOB, Importaciones CIF)

**Fuente:** AFAC en base a Abeced, CEU-UIA e INDEC

En cuanto a mercados, el mayor déficit en comercio de autopartes fue con Brasil. Se exportó en 2017 a dicho país por 1.007 millones de dólares, con un incremento del 13,9% con relación al año anterior. A su vez, las importaciones de autopartes de Brasil ascendieron en 2017 a US\$ 2.674 millones, con un incremento del 19,8% con relación a 2016. De este modo el déficit bilateral de autopartes con Brasil fue de 1.667 millones de dólares en 2017, un 23,7% superior al déficit de 1.348 millones en 2016. El desequilibrio en autopartes con Brasil equivale en 2017 al 24,8% del déficit de autopartes global.

El segundo mayor déficit en el comercio de autopartes fue con la Unión Europea. Las exportaciones de autopartes a Europa fueron de 259 millones de dólares en 2017 y 231 millones de dólares en 2016. Las importaciones desde ese bloque fueron de 1.905 millones de dólares en 2017 y de US\$ 1.765 millones en 2016. El déficit en el comercio de autopartes con la UE fue de 1.645 millones de dólares en 2017, mientras había sido de 1.534 millones de dólares en 2016. La participación de la UE en el déficit de autopartes fue del 24,5% y 26,4% en 2017 y 2016, respectivamente; siendo por ello particularmente sensible a lo que se defina



para el Sector Automotor en la Negociación entre el Mercosur y la Unión Europea.

Si bien, la balanza de autopartes tiene déficit, hay una partida importante de Exportaciones, concretamente en cajas de cambio, motores y componentes de motor que de no existir llevarían a un déficit mucho mayor. En el caso de los vehículos eléctricos, si la Argentina pasa a fabricarlos y no prevé la fabricación de su componente principal como serían las baterías y en segundo lugar los motores eléctricos (que no son objeto de este estudio), **la situación comercial podríamos decir que empeoraría grandemente.**

Adicionalmente al perjuicio de mayores importaciones desde la UE en la Argentina, **habría un perjuicio muy importante por la Pérdida de la preferencia en el Mercado de Brasil:** allí las importaciones de la UE entrarían libres de arancel (o con la preferencia que se defina en la negociación) por lo que desplazarían exportaciones argentinas a Brasil.

Según datos del informe del CIDIV (Centro de Investigación y Desarrollo Innovación Vehicular) hasta 2016, Brasil acapara más del 50% de las exportaciones argentinas de autopartes, exceptuando las cajas de cambio y motores diésel son los únicos subsectores donde se presenta un superávit comercial con Brasil; a pesar de acaparar meramente cerca del 20% del mercado de importación brasileño.

**Tabla 2 - Exportaciones, importaciones y saldo comercial de Argentina y Brasil para distintos subsectores de la cadena automotriz. Promedio 2014-2016.**



HS 2002	Descripción	Exportaciones (Mill. US\$ corrientes)						Importaciones (Mill. US\$ corrientes)						Saldo comercial (A corrientes)		
		Argentina			Brasil			Argentina			Brasil			Arg. - Brasil	Arg. - Mundo	
		Brasil	Mundo	Brasil / Mundo	Arg.	Mundo	Arg. / Mundo	Brasil	Mundo	Brasil / Mundo	Arg.	Mundo	Arg. / Mundo			
8701	Tractores	0	5	1%	320	980	33%	333	404	82%	0	85	0%	-333	-399	
8702	Vehículos para el transporte de diez o más personas	109	165	66%	81	229	36%	83	99	83%	117	120	97%	27	66	
8703	Automóviles	2.088	2.178	96%	2.841	3.744	76%	2.948	3.796	78%	2.105	5.181	41%	-860	-1.618	
8704	Vehículos para el transporte de mercancías	1.989	3.147	63%	888	1.731	51%	930	1.079	86%	1.998	2.224	90%	1.059	2.067	
8705	Vehículos de propósito especial (grúas, camiones mezcladores, etc.)	0	15	2%	3	32	11%	2	47	4%	0	95	0%	-2	-32	
8706	Chasis con motor	2	3	76%	150	621	24%	153	156	98%	2	14	14%	-151	-153	
8707	Cuerpos (incluidas las cabinas), para vehículos automóviles	7	8	90%	10	272	4%	11	16	66%	7	81	9%	-4	-8	
870810	Parachoques y sus partes	10	24	43%	16	31	51%	17	33	51%	11	77	14%	-6	-9	
870821	Cinturones de seguridad	0	0	65%	22	23	96%	22	37	61%	0	39	0%	-22	-37	
870829	Partes y accesorios de carrocerías (incl. Cabinas)	66	117	57%	215	320	67%	216	621	35%	64	1.163	5%	-150	-504	
870839	Frenos y sus partes	2	3	52%	130	235	55%	132	201	66%	2	365	0%	-130	-198	
870840	Cajas de cambio	324	544	59%	156	307	51%	149	638	23%	326	1.698	19%	174	-93	
870850	Ejes motrices con diferencial	69	81	85%	182	265	69%	190	290	66%	69	537	13%	-121	-209	
870870	Ruedas de carretera y sus partes	5	6	85%	55	110	50%	58	115	50%	4	167	3%	-53	-109	
870880	Suspensión amortiguadores para vehículos	26	59	45%	88	156	57%	69	131	53%	26	229	11%	-42	-72	
870891	Radiadores	2	2	78%	23	37	61%	22	48	46%	1	79	1%	-20	-46	
870892	Silenciadores y tubos de escape	1	2	72%	7	16	44%	7	21	33%	1	72	2%	-6	-19	
870893	Embragues y piezas de repuesto	2	6	41%	43	131	32%	42	70	60%	1	108	1%	-40	-64	
870894	Volantes, columnas de dirección y cajas de dirección	10	12	82%	51	108	47%	51	141	36%	9	369	2%	-41	-129	
870899	Otras partes y accesorios de vehículos	27	42	66%	179	508	35%	198	475	42%	25	882	3%	-170	-433	
4010	Correas de transmisión de caucho vulcanizado	13	21	60%	11	34	31%	10	54	19%	13	119	11%	2	-33	
4011	Neumáticos nuevos	115	160	72%	271	1.107	24%	280	438	64%	115	975	12%	-164	-277	
4012	Neumáticos recauchutados	1	3	18%	15	88	18%	16	18	88%	1	9	6%	-15	-15	
4013	Tubos interiores de caucho	0	0	29%	2	6	35%	2	19	8%	0	65	0%	-2	-19	
8407	Motores de pistón de combustión interna recíprocos o giratorios de encendido por chispa	1	2	38%	212	425	50%	215	419	51%	0	549	0%	-215	-418	
8408	Motores de pistón de combustión interna de encendido por compresión (diesel o semi-diesel)	179	193	93%	51	159	32%	51	422	12%	178	794	22%	128	-229	
8409	Partes de motores	55	142	39%	109	1.364	8%	110	413	27%	55	1.112	5%	-54	-270	
8483	Ejes de transmisión (incluidos árboles de levas y ejes de cigüeñal)	27	43	62%	53	527	10%	49	266	19%	27	1.409	2%	-22	-223	

Fuente: Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación Vehicular (CIDIV) FRGP, elaborado en base a COMTRADE.

Si nos centramos en los **componentes**, los principales rubros de **exportación de autopartes** fueron las **transmisiones con 656,9 millones de dólares** (una participación del 40% en las exportaciones de autopartes), **componentes de motor con 204 millones** (una participación del 12,4%), **ruedas y neumáticos y cámaras con 196 millones** (una participación del 11,9% en las exportaciones de autopartes), **y de motores con 182 millones** (el 11,1% de los envíos al exterior de autopartes).

**Tabla 3 – Exportación por grandes grupos de productos - 2017.**

Grupo	FOB US\$	Part %	FOB US\$ 2016	Part %	Variación % 17/16
Transmisión	656.881.833	40,0%	584.500.624	38,7%	12,4%
Componentes de motor	203.780.688	12,4%	196.381.653	13,0%	3,8%
Ruedas, neumáticos y cámaras	195.944.252	11,9%	168.991.808	11,2%	15,9%
Motores	182.139.690	11,1%	169.779.258	11,2%	7,3%
Carrocería y sus partes	114.936.554	7,0%	115.910.874	7,7%	-0,8%
Otras autopartes de plástico	61.248.013	3,7%	52.611.235	3,5%	16,4%
Sistema de amortiguacion, direccion y suspension	70.647.119	4,3%	63.821.985	4,2%	10,7%
Eléctrico	49.266.399	3,0%	53.144.571	3,5%	-7,3%
Equipamiento interior	45.568.489	2,8%	45.719.910	3,0%	-0,3%
Otras autopartes de caucho	17.796.309	1,1%	19.606.606	1,3%	-9,2%



Otras autopartes varias	14.285.782	0,9%	12.332.576	0,8%	15,8%
Otras autopartes de metal	12.468.290	0,8%	11.954.817	0,8%	4,3%
Forja y fundición	12.049.052	0,7%	11.446.557	0,8%	5,3%
Acondicionador de aire y calefacción	2.319.621	0,1%	2.739.768	0,2%	-15,3%
Frenos	2.054.549	0,1%	2.835.777	0,2%	-27,5%
<b>Total</b>	<b>1.641.386.622</b>	<b>100%</b>	<b>1.511.778.018</b>	<b>100%</b>	<b>8,6%</b>

**Notas:** Cifras en millones de dólares

**Fuente:** AFAC en base a CEU-UIA e INDEC

**Tabla 4 – Importación por grandes grupos de productos - 2017**

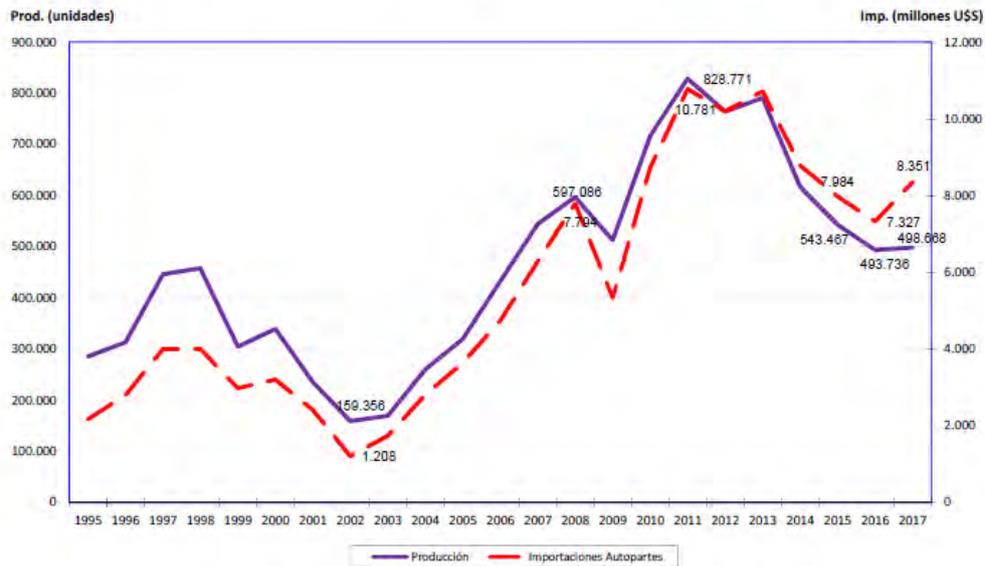
<b>Grupo</b>	<b>CIF US\$ 2017</b>	<b>Part %</b>	<b>Part Acum. %</b>	<b>CIF US\$ 2016</b>	<b>Part %</b>	<b>Variación % 17/16</b>
Transmisión	1.761.420.064	21,1%	21,1%	1.500.583.289	20%	17,4%
Componentes de motor	1.216.386.999	14,6%	35,7%	960.996.204	13%	26,6%
Eléctrico	1.231.259.777	14,7%	50,4%	1.039.529.696	14%	18,4%
Motores	794.234.999	9,5%	59,9%	791.886.008	11%	0,3%
Carrocería y sus partes	757.896.780	9,1%	69,0%	689.084.964	9%	10,0%
Ruedas, neumáticos y cámaras	601.234.479	7,2%	76,2%	523.384.875	7%	14,9%
Equipamiento Interior	458.665.316	5,5%	81,7%	429.195.627	6%	6,9%
Sistema de amortiguacion, direccion y suspension	308.878.326	3,7%	85,4%	279.413.386	4%	10,5%
Otras autopartes de plástico	292.294.660	3,5%	88,9%	255.134.864	3%	14,6%
Frenos	209.177.329	2,5%	91,4%	200.187.829	3%	4,5%
Otras autopartes varias	186.943.630	2,2%	93,6%	171.405.781	2%	9,1%
Acondicionador de aire, calefacción y sus componentes	183.058.819	2,2%	95,8%	167.284.900	2%	9,4%
Otras autopartes de metal	129.044.407	1,5%	97,4%	118.959.832	2%	8,5%
Otras autopartes de caucho	112.039.314	1,3%	98,7%	97.075.228	1%	15,4%
Forja y fundición	108.966.876	1,3%	100%	103.273.305	1%	5,5%
<b>Total</b>	<b>8.351.501.776</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>7.327.395.788</b>	<b>100%</b>	<b>14,0%</b>

**Notas:** Cifras en millones de dólares

**Fuente:** AFAC en base a CEU-UIA e INDEC

## **2.2. Mercado Autopartista argentino: características**

AFAC ya ha señalado en diversas oportunidades la fuerte asociación entre las importaciones de autopartes y la producción de vehículos, siendo un fenómeno de índole estructural que en los últimos años no mostró modificaciones (según el gráfico adjunto).


 GRAFICO: PRODUCCIÓN DE VEHÍCULOS E IMPORTACIONES DE AUTOPARTES 1995 - 2017  
 (producción en unidades, importaciones en millones de dólares)


Según el Consejo Federal de Inversiones (2016), la industria autopartista está compuesta por **600 empresas** que emplean a **70.000 personas** de forma directa, estando el 85% de los fabricantes autopartistas radicados en las provincias de Córdoba, Santa Fe y Buenos Aires, concentrando esta última el 44% de las empresas.

Las principales autopartes producidas en Argentina a nivel de valor agregado son: cajas de velocidad, piezas plásticas, piezas estampadas, piezas de climatización, llantas de aleación y neumáticos. A grandes rasgos, Argentina produce casi todas las partes del vehículo.

Las empresas autopartistas cuentan con capacidad ociosa, utilizando entre el 50 y 60% de su capacidad instalada. El país tiene recursos para fabricar 1.300.000 autos, sin embargo, hoy el mercado está produciendo un tercio de eso.

La ilustración permite observar la participación de las provincias en cuanto a las exportaciones argentinas de piezas de vehículos y tractores.

El mayor nivel de ventas se manifiesta en **Córdoba**, concentrando el 66% de las exportaciones, seguida por **Tucumán** con el 17%. Otra provincia a destacar es **Buenos Aires**, que participa en el 13% de las exportaciones del país.


*Ilustración 3.1: Argentina: Participación de las exportaciones de autopartes por provincia (1er Semestre 2017)*


Fuente: Mapa basado en información del Ministerio de Hacienda

### 2.3. Proveedores

En el gráfico puede observarse a Volkswagen como el principal exportador de cajas de cambio y sus partes (8708.40) promediando los 400 millones de dólares FOB y marcando una distinguida diferencia con Scania que en 2017 tuvo un FOB total de 98 millones de dólares. Les siguen como principales exportadores Renault con 18 millones de dólares, Benevenuta S.A. y Establecimientos Metalurgicos ST con 3 millones de dólares.

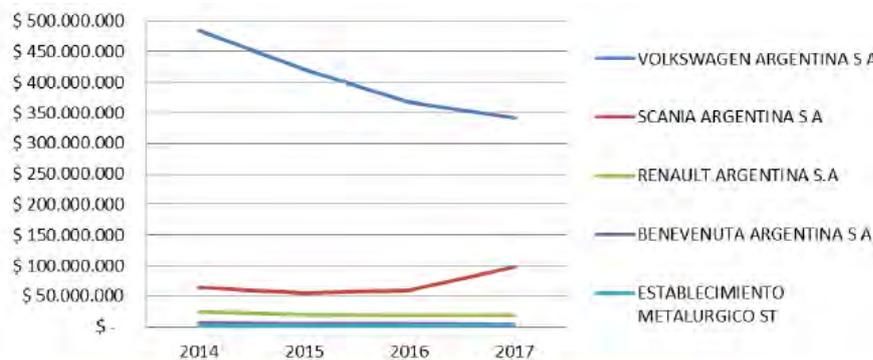


Gráfico 4.1: Exportaciones de cajas de cambio y sus partes por empresa (FOB en USD)

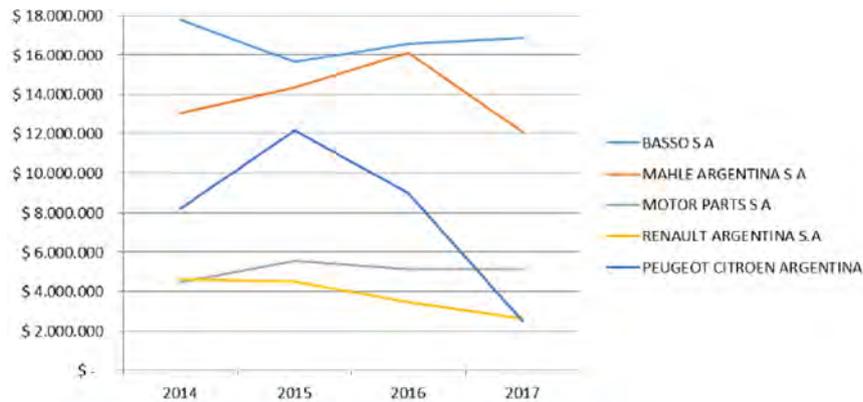


Gráfico 4.2: Exportaciones de partes de motor por empresa (FOB en USD)

### 3. Proveedores de autopartes para VE, en la Argentina y el mundo

#### 3.1 Contexto actual del entorno autopartista para el vehículo eléctrico

Anteriormente se analizó la situación actual de Argentina en cuanto a la fabricación y exportación de distintas autopartes fabricadas en el país para vehículos de combustión interna.

En esta sección vamos a realizar un análisis contextual del mercado a nivel local y global para autopartes de vehículos eléctricos, más específicamente, de las baterías (por estar la Argentina situada sobre el triángulo del litio, éste es uno de los componentes de mayor importancia estratégica) con el objetivo de identificar una oportunidad de inserción en el mercado para la industria nacional.

Para ello, se debe contemplar la migración tecnológica de los componentes fundamentales del vehículo de combustión interna al eléctrico. Esto se debe a que **se puede establecer una situación de reemplazo directo entre dos componentes fundamentales en la transición de un tipo de vehículo hacia el otro, como puede ser la caja de cambios** (Presente en el 100% de los vehículos de combustión interna) **por la batería** (Presente en el 100% de los vehículos eléctricos); al contemplar esta migración, se podrían determinar tasas de producción y aproximar exportaciones para los nuevos componentes a base de información histórica de producción y exportación de autopartes fabricadas actualmente.

##### 3.1.1 Proveedores Locales

Actualmente la mayor esperanza de tener un fabricante local de baterías para la industria automotriz radica en Jujuy Litio S.A. Una empresa creada recientemente bajo el acuerdo de la empresa *SERI* (Italia) y la empresa del estado *Jujuy Energía y Minería Sociedad del Estado (JEMSE)*.

Esta propuesta tiene como objetivo el montaje de una importante planta para la fabricación de baterías de litio. La inversión total prevista ronda los 60 millones de dólares y las baterías eficientes que se produjeran tendrían como objetivo el mercado de colectivos para el transporte de pasajeros y el almacenaje de energía eléctrica proveniente de parques eólicos y solares.

La empresa Jujuy Litio S.A. es en la actualidad el único potencial proveedor de baterías directamente ligado a la industria automotriz con posibilidades de materializarse.

Podemos destacar otras empresas nacionales que se dedican a la fabricación de baterías, pero que actualmente **no fabrican baterías de ion litio**, algunas de estas empresas son Unionbat, Interbat, etc.

Actualmente no hay radicadas en Argentina, empresas fabricantes (ni nacionales ni extranjeras) de este tipo de baterías al día de hoy.

Hay algunas automotrices que explotan el litio en sus formas primarias como son los casos de Toyota, a través de una asociación con JEMSE y Orocobre en la empresa “Sales de Jujuy SA”



### 3.1.2 Proveedores a nivel internacional

En contraste con el escaso desarrollo de proveedores a nivel local, **a escala internacional existe un vasto mercado de proveedores** para satisfacer esta necesidad de la industria automotriz (específicamente proveedores de baterías para vehículos eléctricos). A continuación, veremos una tabla con los mayores productores de baterías globales, ordenados según su volumen de ventas

**Tabla 5 – Lista de baterías primer mitad de 2018, incluyendo 2016-17**

Proveedor de batería	Ventas de baterías a top 10 compañías de VE (MWh)
Panasonic / Tesla	14,890
BYD	7,360
LG Chem	5,340
CATL	4,610
Samsung SDI	3,510
AESC*	2,640

### 3.2 Posibles situaciones para el futuro desarrollo de la industria vehicular eléctrica en Argentina

Analizando la situación actual e internacional de proveedores de baterías para la incipiente llegada de vehículos eléctricos, se han detectado **3 posibles situaciones** que pueden desarrollarse en relación al posicionamiento estratégico de las empresas dentro del mercado de baterías eléctricas en Argentina.

En un primer caso, existe la posibilidad de que **ninguna empresa local llegue a desarrollarse** como proveedor de baterías para la demanda local, en cuyo caso se deberán importar de algún proveedor del exterior. Hay muchas alternativas de proveedores y de diversos países. Será otro el análisis para determinar cuál es la mejor alternativa a elegir. Esta es la **situación menos favorable** para el desarrollo de la industria local.

Otro posible desenlace es que no se cree ninguna nueva empresa especializada en la fabricación de baterías eléctricas pero que **alguna compañía ya existente logre introducirse en este nuevo mercado creando una nueva unidad de negocio** y pueda abastecer parcial o totalmente la demanda local.

Por último, en el mejor de los casos, existe la posibilidad de que **se constituya alguna empresa local** con el fin específico de desarrollarse en la industria de **baterías para vehículos eléctricos** y que logre abastecer toda la demanda local y también alcance el mercado internacional. Un ejemplo de este tipo de empresas es la mencionada anteriormente Jujuy Litio S.A. que hasta el momento significa la mejor oportunidad de que esta hipótesis se materialice.

### 3.3 Pronóstico posibilidad de que se den opciones 2 y/o 3

Teniendo en cuenta lo expuesto en el punto 3.1, se puede observar que existen en la Argentina empresas que fabrican y comercializan en el presente baterías para vehículos de combustión interna (Unionbat, Interbat, etc.). El hecho de que estas empresas no posean la tecnología actual para fabricar las baterías que se utilizan en los vehículos eléctricos es la principal barrera a superar para la inserción de nuestra industria en este mercado, pero con una sólida inversión en información (know-how) e infraestructura, se podría con mucha seguridad superar esta barrera y acercarse a un futuro prometedor para este tipo de estrategias.

Para el caso de crearse o constituirse una empresa nueva en este rubro, la mejor posibilidad de éxito se encuentra en crear alianzas del tipo joint venture, ya que presentan la ventaja de compartir información y facilitar las inversiones futuras. Actualmente un esfuerzo de este estilo se puede ver en la empresa Jujuy Litio S.A., visto en el punto 3.1. Aunque el proyecto aún no está materializado, hay mucha expectativa en la industria para ver la concreción final de este desarrollo. En caso de tener éxito, esto podría significar una gran cantidad de empleos para el sector, avances tecnológicos e incorporación de know-how para el país (debido al aporte del partner estratégico oriundo de Italia) y también una fuerte inserción en este nuevo mercado aún no explotado por el país.



#### 4. Análisis y Conclusiones

Según datos del **2017**, el **déficit de la balanza comercial de autopartes** ascendió a **6.710 millones de dólares** con un crecimiento de un 15,4% en relación a 2016 y representando el 80% del déficit comercial total.

Si bien, la balanza de autopartes tiene déficit, hay una partida importante de Exportaciones, concretamente en cajas de cambio, motores y componentes de motor que de no existir llevarían a un déficit mucho mayor. En el caso de los vehículos eléctricos, si la Argentina pasa a fabricarlos y no prevé la fabricación de sus componentes principales como serían baterías y motores eléctricos, **la situación comercial podríamos decir que empeoraría grandemente.**

En cajas de cambios hay un gran proveedor que es **Volkswagen (Córdoba)** y el otro que hace transmisiones es Scania (Tucumán). Estas son de primer anillo y también hay otras como Faurecia, Denso, Butec, Jetech. Volkswagen por un acuerdo interno exporta cajas de cambio a distintos lugares. La planta de Volkswagen en Córdoba recibió una inversión de 150 millones de dólares para fabricar una nueva caja de velocidades que se suma a las dos actuales. La fabricación total está alrededor de las 700.000 unidades, siendo un 95% para la exportación.

El gobierno, está implementando distintos **programas de promoción sectorial** orientados a otorgar beneficios impositivos, asistencia financiera, capacitación, asesoramiento en la obtención de certificaciones e impulsando una mayor integración de autopartes locales en la fabricación de automóviles.

A pesar de las adversidades, **Argentina es líder en calidad del Mercosur** y exportó en 2017 el 30% de su producción, siendo la mayor exportación manufacturera del país con una alta incidencia en la balanza comercial.

En 2017 hubo un **cambio en la estructura productiva de autopartes**, dado que las importaciones crecieron mucho más que la producción de vehículos.

**En 2017 el desequilibrio en autopartes con Brasil** equivale a casi el 25% del déficit de autopartes global y es superior al déficit de 2016. **El segundo mayor déficit en el comercio de autopartes fue con la Unión Europea**, siendo el 24,5% en 2017, particularmente sensible a lo que se defina para el Sector Automotor en la Negociación entre el Mercosur y la Unión Europea.

Según datos del informe del **CIDIV** (Centro de Investigación y Desarrollo Innovación Vehicular) hasta 2016, Brasil acapara más del 50% de las exportaciones argentinas de autopartes, exceptuando las cajas de cambio y motores diésel son los únicos subsectores donde se presenta un superávit comercial con Brasil; a pesar de acaparar meramente cerca del 20% del mercado de importación brasileño.

Se puede establecer una situación de reemplazo directo entre dos componentes fundamentales en la transición de un tipo de vehículo hacia el otro, como puede ser la caja de cambios por la batería.

Recientemente, durante la elaboración de este paper, salió el informe económico de AFAC relativo a la Balanza Comercial de autopartes del año 2018, por ello se añade a continuación una breve comentario en relación a esa información.

El déficit comercial en autopartes en **2018** ascendió a 6.830 millones de dólares, **creciendo un 1,1%** con relación a **2017**. En el mismo período el **déficit comercial de la Argentina fue de 3.820 millones de dólares**, resultando por lo tanto de **1,7 veces el déficit comercial del país**, en comparación con el valor de 80% del déficit comercial argentino de 2017.

Este año, por primera vez en mucho tiempo, el segundo mayor déficit en comercio de autopartes fue con Brasil. Se exportó en 2018 a dicho país por 970 millones de dólares, con una disminución del 3,7% con relación al año anterior. A su vez, las importaciones de autopartes de Brasil desde Argentina decayeron en 2018 a US\$ 2.473 millones, contrayéndose 7,5% con relación a 2017. De este modo el déficit bilateral de autopartes con Brasil fue de 1.504 millones de dólares en 2018. **El desequilibrio en autopartes con Brasil equivale en 2018 al 22% del déficit de autopartes global**, siendo inferior al casi 25% de 2017.

El fuerte desequilibrio en autopartes con Brasil denota un **fuerte incumplimiento con respecto al flex** acordado con dicho país. En la Política Automotriz Común Argentina-Brasil se estableció que **desde julio de 2015 hasta el 30 de**



**junio de 2020 el coeficiente del flex no debería superar 1,5.** Es decir, se dispuso que por cada dólar exportado a Brasil se podría importar 1,5 dólares de productos automotrices (vehículos y autopiezas) con derechos de importación del cero por ciento, y viceversa en el caso de Brasil, **de modo que en los tres años y medio de vigencia del presente acuerdo el flex alcanzó 1,81 cuando lo permitido es 1,5.**

**En los 17 meses que aún le faltan al Protocolo para que su vigencia sea cumplida, el flex efectivo debería ser en promedio del 0,84 para que a fin de junio de 2020 este coeficiente no exceda el 1,5.** Es evidente la alta probabilidad de un incumplimiento, y por ende, la efectivización de las “multas” contempladas.

En relación a la UE, la **participación de la UE** en el déficit de autopartes fue del 25,1% y 24,5% en 2018 y 2017, respectivamente; siendo por ello particularmente sensible a lo definido el Sector Automotor en la Negociación entre el Mercosur y la Unión Europea.

Cabe destacar el histórico **tratado de libre comercio (TLC)** entre el **Mercosur y la Unión Europea**, tras 20 años de negociaciones, entendiendo los beneficios directos que implica el AMUE (Acuerdo Mercosur Unión Europea) en materia de **reducción arancelaria**, tanto cuando exporten sus productos al mercado europeo como para sustituir insumos que hoy se importan de terceros mercados a un costo mayor. Se trata de **una oportunidad inigualable para crecer y desarrollarse** pero, tras concluir la negociación podemos decir que el trabajo recién comienza y resta traducir esta oportunidad en resultados y que pronto sea habitual para los ciudadanos europeos puedan trabajar en Viena usando una programa informático desarrollado en Buenos Aires, comprar zapatos argentinos en Varsovia, o con tomar un buen vino salteño en Bruselas.

Finalizando, el objeto de este estudio fue mostrar la situación actual en relación al sector autopartista en la Argentina y su evolución e importancia para la economía del país, sobre todo en los últimos años 2017 y 2018. Además tratar de llamar la atención sobre un futuro que se viene con el Vehículo Eléctrico y la importancia de prever desde este momento una estructura y una industria autopartista alternativa que sea capaz de cumplir por lo menos el mismo papel que cumple hoy en día. Sería un reto muy bueno no solo cumplir el mismo rol de hoy, sino dar un salto mayor que permita explotar las posibilidades de utilización del litio, así como la fabricación de baterías y componentes eléctricos.

## Referencias

- [1] Barreiros Cavaco G; Días Oyhanart M; Jaltar, Y y Zappia A., “Investigación del mercado autopartista ARGENTINA – INDIA”, Trabajo de Investigación Final en conformidad para obtener el título de grado de Licenciado en Comercio Internacional UADE; Profesor: Sequeira, Aníbal - Aldaz, Luisina, Año 2018.
- [2] Mañez Gomis G; Bermudez Forn E y Araya Salas M., Movilidad Eléctrica: avances en América Latina y El Caribe y Oportunidades para la colaboración regional, ONU 2018. Publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (ONU Medio Ambiente), noviembre 2018, Copyright © ONU Medio Ambiente 2018, ISBN: Pendiente
- [3] Emmanuel Ferrante L, Mentor: Jorge Fantin, “El Futuro de la Industria Automotriz Argentina” Trabajo de Graduación del MBA UdeSA, Victoria, Provincia de Buenos Aires, 2 de mayo de 2012.
- [4] Asociación de Fábricas Argentinas de Componentes (AFAC), Comercio exterior Autopartista, Año 2018, junio de 2018.
- [5] Asociación de Fábricas Argentinas de Componentes (AFAC), Comercio exterior Autopartista, Año 2017, febrero de 2018.
- [6] Otero D y Canzian A directores; Santarossa Y Coordinador de la publicación; Santarossa L Asistente, Dossier informativo del CIDIV (Centro de Investigación Desarrollo e Innovación Vehicular), ISSN 2618-3374| AÑO 2018 | VOL. 1. |
- [7] Anabel Marín, Martín Obaya, Martín del Castillo, Industrias extractivas siglo XXI, desafíos y posibilidades de transformación: los casos del litio en Argentina y el cobre en Chile, Documento de Trabajo n° 1, 2016 – 2017, © Red Sudamericana de Economía Aplicada/Red Sur Luis Piera 1992, Piso 3 - Edificio Mercosur, CP 11200, Montevideo, Uruguay, Mayo 2015.



# Ferrocarriles



# Evaluación de la Velocidad de Crecimiento de Fisura por Fatiga en Aceros para Rieles Ferroviarios

*Eduardo Asta<sup>a</sup>, Francisco Cambiasso<sup>a\*</sup>, Juan Balderrama<sup>a</sup>*

<sup>a</sup> Grupo de Investigación Mecánica de la Fractura, Universidad Tecnológica Nacional.  
Paris 532, Haedo (1706), Argentina.

## ABSTRACT

*The process of damaging railway rails originates in the head of the rail, mainly due to wear and a contact fatigue process by rolling, which, from cyclic bending efforts, allows the development and growth of cracks until they, as a consequence of the use, can reach their critical condition and later rupture. In an evaluation of fracture mechanics, it is usual to adopt conservative estimates of the various parameters required. The fracture mechanics approach assumes that a failure can be idealized as a sharp-edged crack that propagates according to the law that relates the rate of growth of the crack,  $da/dN$ , and the intensity factor range,  $\Delta K$ , for the material that contains the failure. In fact, the rate of fatigue crack growth of a given material under a given stress state and with a certain failure geometry is increasing as the crack increases. In the present work, crack growth tests have been performed with specimens extracted from the head or fungus of the rail according to ASTM E-647, for a type C-Mn steel of widespread use in the manufacture of rails. The speed of growth of crack by fatigue ( $da/dN$ ) were determined by the polynomial method and the dynamic stress intensification factors according to the same specification. The tenacity parameters to fatigue crack growth are a property of each material and are related to the selection of the suitable alloy for each application.*

*Keywords: fatigue, steel, fracture, toughness, crack.*

## RESUMEN

*El proceso de daño de los rieles ferroviarios tiene su origen en la cabeza del riel debido principalmente a desgaste y a un proceso de fatiga de contacto por rodadura, que, a partir de esfuerzos de flexión cíclica permite el desarrollo y crecimiento de las fisuras hasta que las mismas, como consecuencia del uso, pueden alcanzar su condición crítica y posterior rotura. En una evaluación de mecánica de fractura, es habitual adoptar estimaciones conservadoras de los diversos parámetros requeridos. El enfoque de la mecánica de fractura asume que una falla se puede idealizar como una fisura de punta afilada que se propaga de acuerdo con la ley que relaciona la tasa de crecimiento de la fisura,  $da / dN$ , y el rango del factor de intensidad de tensión,  $\Delta K$ , para el material que contiene la falla. En efecto la velocidad de crecimiento de fisuras por fatiga de un determinado material bajo un estado de tensiones dado y con una determinada geometría de falla es cada vez mayor a medida que crece la fisura. En el presente trabajo se han realizado ensayos de crecimiento de fisura con probetas extraídas de la cabeza u hongo del riel de acuerdo con ASTM E-647, para un acero del tipo C-Mn de extendido uso en la fabricación de rieles. Las velocidades de crecimiento ( $da/dN$ ) se determinaron por el método polinómico y los factores de intensificación de tensiones dinámicos según la misma especificación. Los parámetros de tenacidad al crecimiento de fisuras por fatiga son una propiedad de cada material y están relacionados con la selección de la aleación adecuada para cada aplicación.*

*Palabras Clave: fatiga, acero, rieles, fractura, tenacidad, fisuras.*

## 1. Introducción

Las exigencias a las que son sometidos los rieles modernos hacen cada vez más necesario el estudio de sus propiedades. Tales trabajos permiten conocer mejor y en forma anticipada a respuesta frente al servicio de estos productos.

En consecuencia se promueven mejoras y se garantiza calidad de producción seguridad de la operación



correspondiente a la vida estimada.

Por su parte es posible disponer de los antecedentes necesarios para la elaboración de programas de inspección y mantenimiento predictivo que también se constituyen en piezas claves para la explotación segura y económica de rieles ferroviarios.

En los países líderes en la fabricación de rieles y con amplias redes de ferrocarriles, tanto para el transporte de carga como de pasajeros, fueron hechos, y se continúan desarrollando, importantes esfuerzos que han permitido estandarizar la producción de distintos tipos de rieles, calcular las exigencias sobre éstos, así como promover todas las investigaciones relacionadas con problemas del servicio.

Actualmente los rieles ferroviarios deben ser aptos para soportar:

- Elevadas cargas en los ejes.
- Altas velocidades.
- Grandes volúmenes de tráfico.

Para cumplir con estas solicitaciones, en general, se utilizan aceros que verifiquen requisitos tales como:

- Resistencia al desgaste.
- Resistencia a la fatiga.
- Tenacidad a la fractura.
- Soldabilidad.

A fin de satisfacer estos requerimientos se utilizan aceros con las siguientes características:

- Microestructura perlítica de grano fino.
- Perlita con espaciado interlaminar fino.
- Elevada resistencia a la tracción. hasta 1300 MPa .

Las propiedades mencionadas, pueden obtenerse según la necesidad, directamente en la condición de "acero laminado" utilizando tratamientos térmicos o mediante el uso de aleantes.

La producción de rieles, de acuerdo con especificaciones de origen en USA y Europa, se ha agrupado en tres tipos:

- Rieles de acero al carbono, con distintos rangos de C para aumentar la resistencia, hasta un contenido máximo de 0,82%.
- Rieles de acero aleado con alto silicio, manganeso, manganeso/vanadio o al cromo. La resistencia es entre un 15 y 35% mayor que la correspondiente al acero al carbono.
- Rieles de acero al carbono tratados térmicamente con la cabeza endurecida (por calentamiento inductivo y posterior temple al aire o totalmente tratado (templado al aceite y revenido).

Se efectuó una revisión actualizada de aspectos básicos del comportamiento y características de rieles de acero, así como de las técnicas de evaluación que permiten realizar un completo estudio de sus propiedades. El proceso de daño de los rieles ferroviarios del tipo C-Mn tiene su origen en la cabeza del riel (Fig. 1), debido principalmente a desgaste y a un proceso de fatiga de contacto por rodadura, que, a partir de esfuerzos de flexión cíclica permite el desarrollo y crecimiento de las fisuras hasta que las mismas, como consecuencia del uso, pueden alcanzar su condición crítica y posterior rotura. En tal sentido es muy importante para la seguridad de operación de las modernas formaciones ferroviarias el conocimiento de las propiedades de tenacidad a la fractura y del crecimiento cíclico de fisura. Con dichas propiedades y las condiciones de carga en servicio se puede analizar la integridad estructural de los rieles que permite establecer requerimientos para la inspección no destructiva tanto para control de calidad como para la predicción de vida en servicio y el posterior control periódico en operación [1,2].

Se llevaron adelante ensayos, mediante una metodología de análisis de integridad estructural específica para rieles de acero para uso ferroviario [2,3], que incluyeron una serie de parámetros básicos y fractomecánicos. En este trabajo se presentan los resultados de ensayos de tenacidad al crecimiento de fisuras por fatiga correspondientes a rieles de acero laminado, aleado de tipo C-Mn.



### 1.1. Material

Se ha utilizado para la evaluación un típico acero al carbono para uso en rieles ferroviarios con tres probetas de distintos tramos de rieles. Las tablas 1 y 2 muestran la composición química y las propiedades mecánicas del acero analizado.

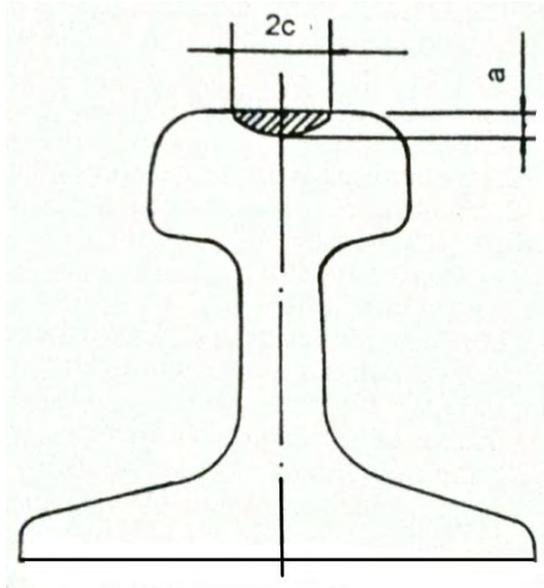


Figura 1 - Fisura típica en la cabeza de riel ferroviario.

Tabla1 - Composición química del material

Acero	Composición química (% en peso)					
	C	Mn	Si	P	S	Al
A28	0,75	1,18	0,30	0,023	0,016	0,012

Tabla 2 - Propiedades mecánicas

Acero	Propiedades mecánicas		
	Rm (MPa)	Rp 0,2 (MPa)	A5 (%)
A28	927	479	12,2

### 1.2. Método Experimental

Existen dos métodos para evaluar las fallas planares. un procedimiento general, y un procedimiento simplificado relacionado con las curvas S-N [4]. Ambos métodos se basan en el análisis de la mecánica de fractura de fisuras bajo carga de fatiga y estiman la vida de fatiga al integrar su ley de crecimiento. El procedimiento general permite el uso de expresiones precisas para el factor de intensidad de tensión cíclica y datos específicos de crecimiento de fisuras por fatiga. El procedimiento simplificado implica el uso de los resultados de los cálculos de mecánica de fracturas ya realizados y presentados gráficamente.



En una evaluación de mecánica de fractura, es habitual adoptar estimaciones conservadoras de los diversos parámetros requeridos. Las recomendaciones en se basan en esta filosofía. Sin embargo, otro enfoque es utilizar métodos de confiabilidad para permitir introducir incertidumbres en los parámetros.

El enfoque de la mecánica de fractura asume que una falla se puede idealizar como una fisura de punta afilada que se propaga de acuerdo con la ley que relaciona la tasa de crecimiento de la fisura,  $da/dN$ , y el rango del factor de intensidad de tensión,  $\Delta K$  Ec. (1), para el material que contiene la falla. La ley de crecimiento de fisuras se determina experimentalmente y puede generarse específicamente para la ECA.

Sin embargo, las leyes de crecimiento de fisura pueden encontrar en la bibliografía, y también se permite el uso de datos apropiados publicados. Se observa normalmente que la relación general entre  $da/dN$  y  $\Delta K$  es una curva sigmoideal en una gráfica  $\log(da/dN)$  versus  $\log(\Delta K)$ .

Existe una parte central para la cual puede ser razonable asumir una relación lineal (es decir, la ley de París, Fig. 2) o, para mayor precisión, representar los datos mediante dos o más líneas rectas. A valores bajos de  $\Delta K$ , la tasa de crecimiento disminuye rápidamente, de modo que, por debajo del rango del factor de intensidad de tensión umbral,  $\Delta K_{th}$ , el crecimiento de fisuras es insignificante. A valores altos de  $\Delta K$ , cuando el factor de intensidad de tensión máxima en el ciclo,  $K_{max}$ , se aproxima al factor de intensidad de tensión crítica para falla bajo carga estática,  $K_{IC}$ , la tasa de crecimiento de fisuras se acelera rápidamente. Existen varias leyes de crecimiento de fisuras que describen la relación sigmoideal completa. Sin embargo, a menudo es suficiente suponer que la parte central se aplica a todos los valores de  $\Delta K$  desde  $\Delta K_{th}$  hasta el fallo. [4]

A modo de ilustración de la ley de París, la ecuación que corresponde es la Ec. (2).

El rango del factor de intensidad de tensión,  $\Delta K$ , es una función de la geometría estructural, el rango de tensión y el tamaño de la fisura instantánea y se calcula a partir de la siguiente Ec. (1).

La aceptabilidad de una fisura de tamaño inicial  $a_i$  depende de si la vida cíclica calculada,  $N$ , es mayor o menor que la vida requerida, Ec. (3).

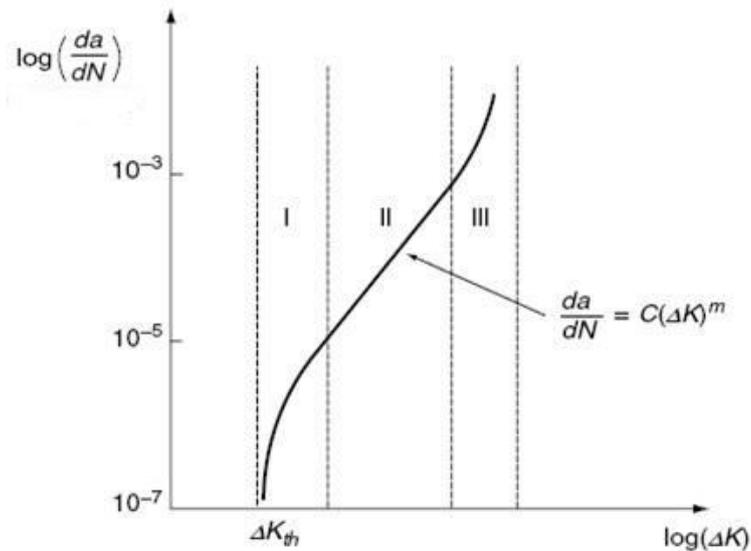


Figura 2 - Esquema teórico de la Curva de Paris para un acero.

Se realizaron ensayos de crecimiento de fisura con probetas C(T) extraídas de la cabeza u hongo del riel tal como se muestra en la Fig. 1, de 12,7mm x 57mm de acuerdo con ASTM E-647, utilizada, a 50 Hz [5].

Las velocidades de crecimiento ( $da/dN$ ) se determinaron por el método polinómico y los factores de intensificación de tensiones dinámicos según la misma especificación, Ec. (1).

$$\Delta K = f(g) \Delta \sigma \sqrt{\pi a} \quad (1)$$

Donde:  $f(g)$  es una función geométrica propia de la probeta utilizada y su cálculo se especifica en la Norma [5].



$$da/dN = C \Delta K^m \quad (2)$$

Dónde: C y m son constantes que dependen del material y las condiciones aplicadas, incluido el entorno y la frecuencia cíclica. Para  $\Delta K < \Delta K_{th}$ , se supone que  $da/dN$  es cero, Fig. 2.

Asimismo se realizó también para el mismo material un análisis de significación de defectos según la Mecánica de Fractura Lineal Elástica, a través de ensayos de tracción, impacto y tenacidad a la fractura según ASTM 1820 [6,7].

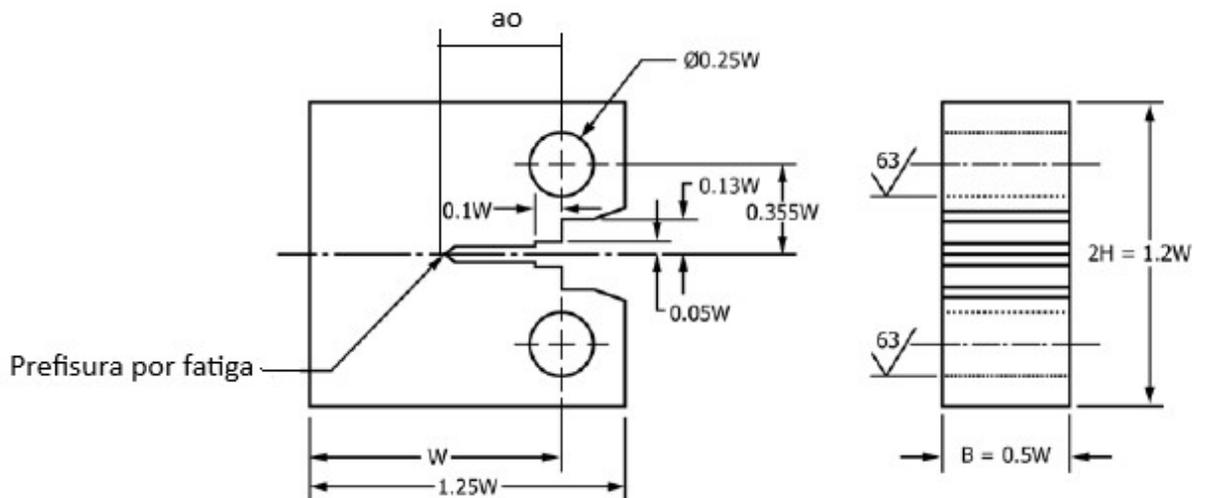


Figura 3 - Modelo de probeta ASTM 1820 y ASTM E-647.

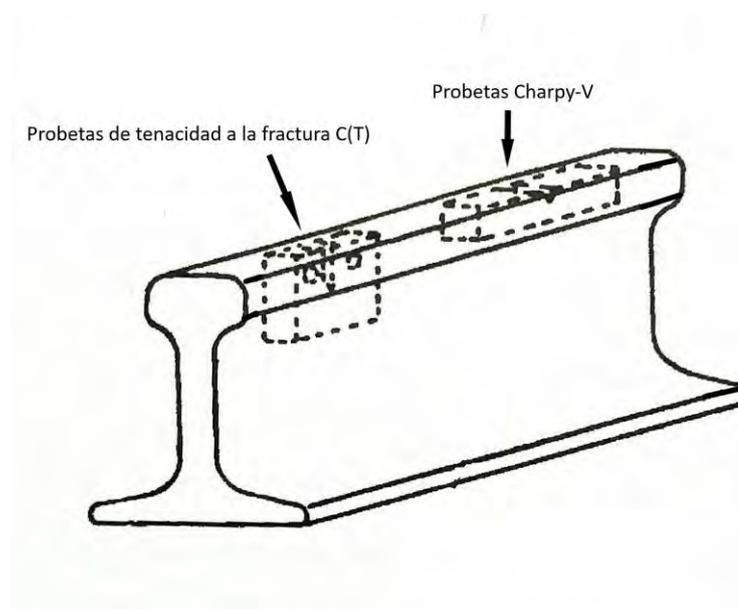


Figura 4 - Posición de la zona de extracción de probetas.



## 2. Resultados

Tras el ensayo de las probetas de fatiga de alto número de ciclos a temperatura ambiente se obtienen los gráficos que se encuentran superpuestos en la Fig. 4, en escala doble logarítmica.

Este ensayo corresponde a la zona central de la Curva de Paris, expresada en la Ec. (2), Fig.1. Se obtiene una dispersión razonable para los valores.

Se puede concluir que el valor promedio del parámetro  $n$  de la misma ecuación es de valor  $m=3,0$ , que comparado con los valores de referencia de la bibliografía es muy satisfactorio frente a los correspondientes aceros de composición y microestructura similar [4].

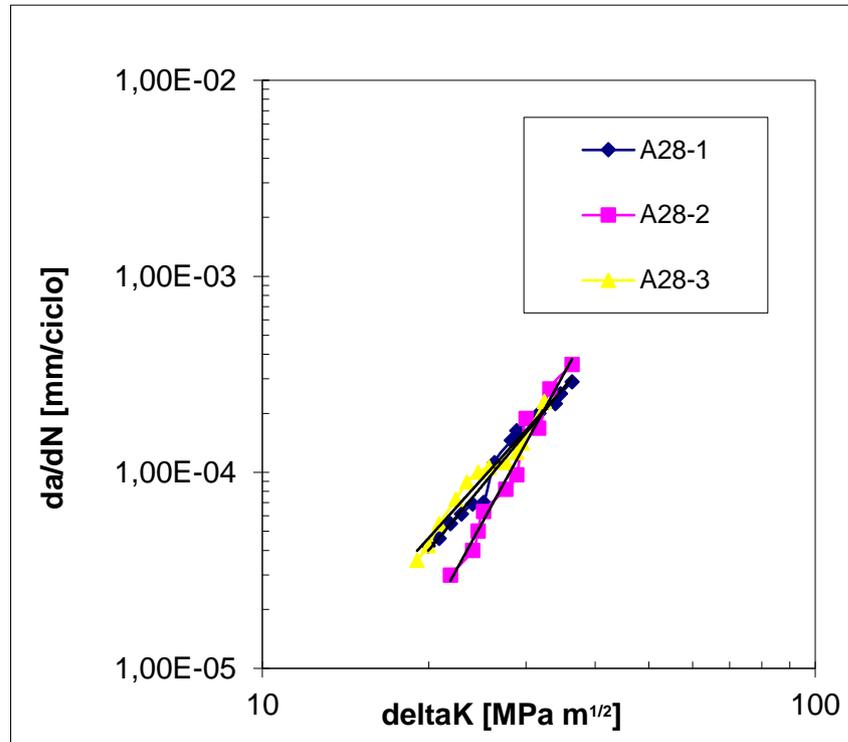


Figura 5 - Resultados para las probetas ensayadas según ASME E-647.

$$N = \frac{1}{c\Delta\sigma^m} \int_{a_i}^{a_c} \frac{1}{f(g)^m (\pi a)^{\frac{m}{2}}} da \quad (3)$$

## 3. Discusión y Conclusiones

El parámetro  $m$  de la ecuación de crecimiento de fisura por fatiga (pendiente de la recta en escalas logarítmicas) es de valor  $m=3,0$  que resulta menor que los valores de referencia de la bibliografía para aceros estándar de similar microestructura [4]. El valor de esta pendiente en términos logarítmicos, indica una menor tasa de crecimiento de fisura durante el período de propagación, Fig. 2.

Mediante la Ec. (3) se puede obtener, integrando entre un valor detectado por ensayo no destructivo y el valor crítico de falla, el número de ciclos restantes teórico en la vida en servicio del riel.

Del análisis de significación de defectos surge que los tamaños de defectos críticos en la cabeza del riel, para las condiciones de carga consideradas, son suficientemente grandes para ser detectados y monitoreados en servicio, por métodos no destructivos, con un importante margen de reserva respecto de una eventual condición crítica.



#### 4. Referencias

- [1] Yasuo, O., McEvily, A.J. “An evaluation of fatigue crack growth and fracture toughness characteristics of rail steels. Engineering Fracture Mechanics”, 29 (2), 159-172, (1988).
- [2] Asta, E.P., Balderrama, J.J., Cambiasso, F.A. “Evaluación de la tenacidad a la fractura y del crecimiento cíclico de fisura en aceros de rieles ferroviarios”. Revista Información Tecnológica CIT, 8(2), 37-42, (1997).
- [3] Asta, E.P., Garrera, R.A. “Características y Comportamiento de Rieles de Acero para Uso Ferroviario” I.A.S. Instituto Argentino de Siderurgia. (1992).
- [4] BS 7910. “Guide to methods for assessing of flaws in metallic structures”. British Standard Institution. (2005).
- [5] ASTM- E 647-01. “Standard Test Methods for Constant-Load – Amplitude Fatigue Crack Growth Rates Adobe  $10^{-8}$  mm/Cycle”. Annual Book of ASTM Standards. (2001).
- [6] ASTM- E 1820-01. “Standard Test Methods for Measurement of Fracture Toughness”. Annual Book of ASTM Standards. (2001).
- [7] Dabell, B., Hill, S., Watson, P. ASTM STP 644. 430-448. (1978).



# Determinación del momento de balanceo a partir de la medición del campo de presiones

*Ing. Jorge Kolarovic<sup>1</sup>, Ing. Guillermo Moreo<sup>1</sup>, Ing. Matias Meroniuc<sup>1\*</sup>, Ing. Juan Saba<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo, Paris 532, Haedo, CP:1706, Argentina

\* Autor principal, dirección de correo electrónico: aeroniuk@gmail.com / mmeroniuc@frh.utn.edu.ar

## ABSTRACT

*The objective of this work is the aerodynamic study of a high speed train model (according to European standard UNE-EN14067-6: 2010 for the study of crosswinds on railway vehicles) based on the profile of the ICE-1 train (InterCity Express). It seeks to obtain the distribution of pressures on its surface when subjected to the incidence of wind from different angles to obtain the distribution of pressure coefficients and, ultimately, the overturning moment of the body. Finally, a qualitative analysis of laser tomography will be added to identify the vortical structures that characterize lateral wind flow.*

*Keywords: cross-wind, high speed trains, overturning, wind tunnel, aerodynamic forces and moments*

## RESUMEN

*El presente trabajo tiene como objetivo el estudio aerodinámico de un modelo de tren de alta velocidad (conforme normativa europea UNE-EN14067-6:2010 para el estudio de vientos cruzados sobre vehículos ferroviarios) basado en el perfil del tren ICE-1 (InterCity Express). Se busca obtener la distribución de presiones sobre su superficie al ser sometido a la incidencia del viento desde distintos ángulos para obtener la distribución de Coeficientes de presión y, en última instancia, el momento de rolido (o balanceo) del cuerpo. Por último, se agregará una análisis cualitativo de tomografía laser para identificar las estructuras vorticosas que caracterizan al flujo en viento lateral.*

*Palabras Clave: aerodinámica ferroviaria, viento cruzado, túnel de viento, momento de balanceo.*

## 1. Introducción

Las fuerzas y momentos resultantes por las distribuciones de presión generadas al exponer un tren a vientos laterales pueden producir situaciones que amenacen la seguridad y, en un caso extremo, el vuelco del vehículo - ver Fig. 1(a)-. A tal fin, se han establecido una serie de normativas para garantizar la seguridad en el diseño de trenes de alta velocidad mediante la determinación de los coeficientes aerodinámicos y los métodos para obtenerlos.



**Figura 1 – Accidente relacionado con el viento cruzado [1] y estructuras vorticosas para  $\beta > 10^\circ$  [2].**

Para el caso de vientos cruzados pueden diferenciarse tres tipos de flujos diferentes según el ángulo de incidencia lateral. Para ángulos de incidencia ( $\beta$ ) de hasta  $10^\circ$  el flujo puede apreciarse mayormente adherido. A partir de los  $10^\circ$



comienzan a desprenderse fuertes vórtices con estructura cónica, muy similares a los producidos por un ala delta, los cuales generan zona de baja presión y una gran fuerza de sustentación que produce un gran momento de vuelco - ver Fig. 1(b)-. Para ángulos superiores a los 40° estos vórtices comienzan a volverse inestables y alcanzando los 50° grados se produce la ruptura, con la consiguiente recuperación de presión en la zona y la disminución de las fuerzas y momentos. A partir de aquí los vórtices son reemplazados con una estructura inestable denominada vórtices de Karman acompañados con burbujas de separación. Se verifica en ensayos de túnel de viento que para ángulos comprendidos entre los 60°-90° las estructuras vorticosas predominantes son estáticamente homogéneas en la dirección axial y en regiones alejadas de la trompa.

Como trabajos de referencia en este campo de estudio pueden citarse los trabajos de Orellano y Schober [1] y de Biadgo, Simonovic, Svorcan y Stupar [2]. Sin embargo, los mismos están limitados a ángulos de “yaw” ( $\beta$ ) de 60°. En el presente trabajo se buscará desplazar un poco este umbral y llegar a ángulos de 90°, conforme el trabajo realizado por Matsui, Watanabe y ABE [3].

## 2. Marco Teórico

### 2.1. Coeficiente de presión ( $C_p$ )

Como es costumbre en aerodinámica el hecho de utilizar coeficientes adimensionales para las fuerzas y momentos (tales como  $C_l$ ,  $C_d$  y  $C_m$  por ejemplo), se hizo patente la necesidad de definir uno para otra magnitud de uso común: la presión. El mismo se define como “Coeficiente de Presión” o  $C_p$  y su expresión [4] básica responde a:

$$C_p = \frac{P_{est-local} - P_\infty}{q_\infty} \quad (1)$$

En donde “ $P_{est-local}$ ” corresponde a la presión estática local en el punto de interés y “ $q_\infty$ ” a la presión dinámica de la corriente libre. Como se mencionó anteriormente, el extendido uso de coeficientes adimensionales (para las fuerzas y momentos) hace que los mismos puedan ser expresados en función de este coeficiente de presión.

Este coeficiente permite identificar la existencia de una sobrepresión ( $C_p > 1$ ) o succión ( $C_p < 1$ ) localizada en la región analizada. Esto permitirá, como se verá en los siguientes apartados, encontrar el valor de la fuerza originada por la distribución de presiones circundante al cuerpo en estudio.

Para finalizar, también es importante recalcar que el análisis de este parámetro permitirá identificar zonas en la que el flujo está desprendido del cuerpo. Este desprendimiento se pone de manifiesto con la estabilización del valor del  $C_p$ , en la región con flujo desprendido, independientemente del aumento del ángulo de incidencia  $\beta$ .

### 2.2. Fuerzas sobre objetos en función de la distribución de presiones

En este apartado se detallará la metodología que permitirá, a partir de las mediciones hechas en un ensayo en túnel de viento, estimar la fuerza a que está sometido el cuerpo en estudio en función de las presiones medidas.

Este análisis deja de lado la componente de fuerza cuyo origen es viscoso. En general, dicha componente es difícil de medir con medios ordinarios y suele ser despreciable comparada con la originada debido a las presiones normales sobre la superficie (para un cuerpo de longitud limitada). Por otro lado, dado que el trabajo actual está abocado a medir el momento de volcado – alrededor del eje X en la Fig. 2-, se hace patente que el mismo será originado por las fuerzas normales a las paredes del cuerpo, sin influencia de las fuerzas paralelas a dicho eje (o sea, las de origen viscoso).

Habiendo definido lo anterior, la fuerza diferencial –  $dF$  - sobre un elemento diferencial de superficie “ $dS$ ” perteneciente a una región “S” -ver Fig. 2- estará definida por la ec. (2). Debe aclararse que el “-” simplemente está presente para que una fuerza de succión en la cara mostrada genere una fuerza positiva en Z.

$$dF = -(P - P_\infty) \hat{n} dS \quad (2)$$

Pero operando sobre la misma multiplicando y dividiendo por la presión dinámica de la corriente libre (para obtener el coeficiente de presión  $C_p$ ), reemplazando  $dS$  por  $b \cdot dx$  (siendo  $b$  el ancho de la sección considerada) e integrando se llegará a la fuerza actuante sobre la región S (ec. (3)) a partir de una distribución de  $C_p = f(x)$  obtenida sobre la misma.



$$dF = -\frac{(P - P_\infty)}{q_\infty} q_\infty b dx = -C_p(x) q_\infty b dx \Rightarrow \int dF = F = q_\infty b \int_0^L -C_p(x) dx \quad (3)$$

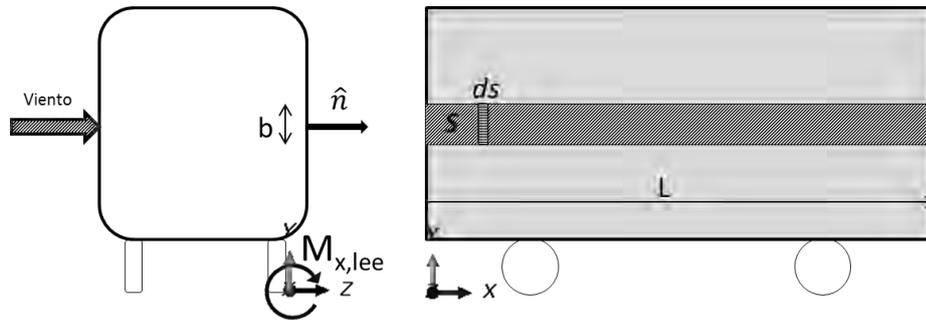


Figura 2 – Cuerpo y sistema de referencia. Definición del momento de balanceo  $M_{x,lee}$ .

### 2.3. Momento Aerodinámico inducido por el viento

En función de lo visto en el apartado anterior, es lógico suponer que las fuerzas originadas sobre los costados del cuerpo darán origen a un momento de rolido (balanceo) con respecto a un eje de referencia situado en el apoyo del cuerpo. Conforme se define en [5], el momento de balanceo que es de interés en el presente trabajo es aquel considerado alrededor del carril resguardado del ataque del viento (sotavento) y se define como  $M_{x,lee}$  (ver Fig. 2).

Este momento de rolido es función de la densidad de referencia del aire, la velocidad de la corriente libre (o relativa del viento), una superficie de referencia ( $A_0$ ), una longitud de referencia ( $d_0$ ) y un coeficiente adimensional  $c_{M_{x,lee}}$  que es función del ángulo de guiñada  $\beta$  (ángulo relativo entre el eje longitudinal del cuerpo y la dirección del viento relativo). La expresión matemática dada por [5] –sección 5.4.2.3- que muestra la relación entre las variables antes citadas y el momento está dada por:

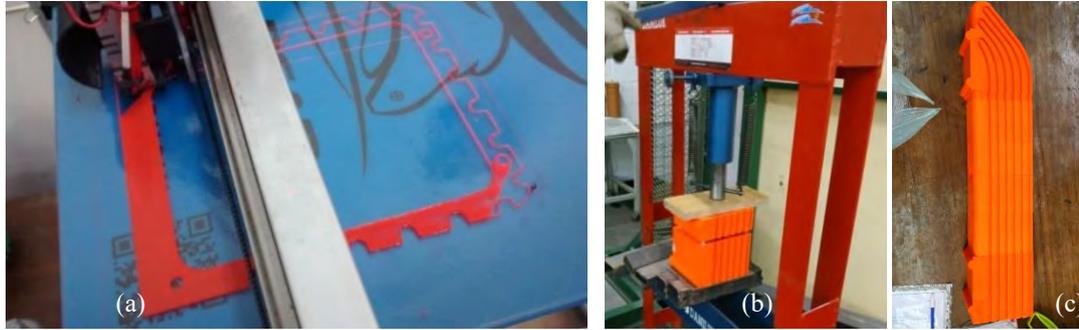
$$M_{x,lee} = \frac{1}{2} \rho_0 V_a^2 A_0 d_0 c_{M_{x,lee}}(\beta) \quad (4)$$

## 3. Ensayo en túnel de viento

### 3.1. Modelo de ensayo

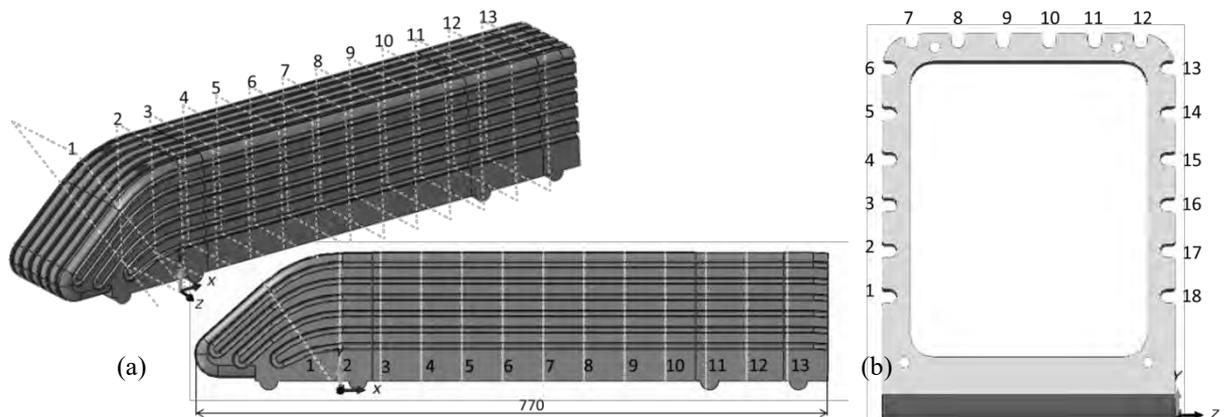
Como cuerpo de ensayo fue utilizado un modelo modificado a escala 1:24 del tren alemán de alta velocidad denominado ICE-1. El modelo fue recortado levemente en su longitud (quedando un largo total de 770mm) para cumplir el criterio de bloqueo máximo a lo ancho del túnel (sección 5.3.4.8 de [5]) que restringe a un 75% del mismo el largo del modelo a ser utilizado (la condición más restrictiva, claro está, corresponde para  $\beta=90^\circ$ ). Al mismo tiempo, el uso de la escala adoptada permite mantener una relación de bloqueo (relación entre la superficie que surge de proyectar el perfil del modelo al plano transversal a la cámara de ensayo y la sección transversal de esta última) <15% que es el valor límite especificado en la sección 5.3.4.7 de [5].

El modelo fue construido por secciones en PLA (Fig. 3(a)) través de impresión 3D y posteriormente ensamblado para conformar el conjunto entero (Fig. 3(b)-(c)).


**Figura 3 – Construcción del modelo de ensayo.**

Conforme puede apreciarse en las Figs. 4(a)-(b), el cuerpo de ensayo posee una estructurada acanalada (con 18 canales) en la que irán alojadas las mangueras que permitirán la toma de 18 mediciones a lo largo del contorno para una sección o estación determinada – ver Fig. 4(b) -. El modelo fue particionado en 13 estaciones – ver Fig. 5(a) - con el objeto de poder tener el conjunto de datos no solo para una estación determinada, sino también a lo largo del eje X de las figuras antes citadas. Este esquema permitirá obtener mediciones en la periferia de cada sección a lo largo del eje X. La configuración de terreno escogida para el ensayo corresponde a suelo plano sin separación (método finlandés) conforme los lineamientos dados en el anexo D (inciso 4) de [5] que prescinde del uso de terraplén.

La medición de la presión localizada se lleva a cabo por medio de orificios hechos en las mangueras. Para asegurar que la superficie esté lo más lisa posible (considerando la presencia de los canales con mangueras y los defectos propios de la impresión 3D) se empleó un film autoadhesivo sobre las superficies.


**Figura 4 – Cuerpo de ensayo.**

### 3.2. Túnel de viento

El túnel de viento empleado es del tipo Eiffel, con una relación de contracción de la toma de aire a la sección de ensayo de 4.6 a 1. La cámara de ensayos tiene un largo de 10m, un ancho de 1.28m y un alto de 1.28m y previa a las misma hay un “Honeycomb” para mejorar la calidad de la vena fluida. La sección de la cámara de ensayos es del tipo octogonal con biselado de ancho variable para mantener la presión estática constante a lo largo de la cámara. Por causa de este biselado el ancho en la sección del piso de la cámara se ve reducido a 1.1m, lo que llevó a que el largo máximo de la maqueta no superara 0.8m para no infringir la restricción al ancho de bloqueo para  $\beta=90^\circ$ . La planta de poder está constituida por 4 motores trifásicos de 5.5HP que van acompañados de ventiladores HAL 1100 6-6 marca Ciarrapico Aerotécnica S.A., que permiten obtener una velocidad máxima de 80 Km/h ( $\approx 22\text{m/s}$ ).

### 3.3. Adquisición de datos

La adquisición de datos fue realizada por un equipo denominado SAP (sistema de adquisición de presiones) que consta de hasta 32 canales de medición por medio del uso de transductores de presión diferenciales unidireccionales. El



rango útil de los mismos es de 0 a 200 mmH<sub>2</sub>O con un error de medición de 0.1mmH<sub>2</sub>O a fondo de escala. La frecuencia de muestreo del SAP es de 200 Khz, estando por encima de aquella recomendada (1Hz) por [5] en su sección G.7.2.

En el ensayo fueron empleados, además de los 16 canales de medición para cada estación, dos canales más para medir la presión total y estática de la corriente libre para obtener la presión dinámica de la misma. La visualización de las mediciones se realiza a través de un software desarrollado en el Laboratorio de Aerodinámica y Fluidos de la UTN-Facultad Regional Haedo que permite visualizar las presiones en el formato de manómetro de columna de agua. Sumado a lo anterior, también se suma el hecho de permitir generar un archivo de salida en formato .xls con todas las mediciones (agilizándolo el postprocesamiento) y emplear un tiempo de muestreo para obtener una presión promediada.

## 4. Resultados

### 4.1. Distribución de presiones

En la Fig. 5 se presentan las gráficas de Coeficiente de presión ( $C_p$ ) =  $f(x)$  para dos canales característicos (ver Fig. 4) de la cara a barlovento (enfrentada al viento relativo). Como puede observarse, para  $\beta > 30^\circ$  se verifica la sobrepresión reinante sobre la misma con  $C_{ps} > 0$ .

En la Fig. 6 se muestran resultados similares pero para dos canales correspondientes al techo del coche. Debe observarse como el efecto de succión sobre esa cara se acentúa conforme aumenta  $\beta$  (manifestada por la disminución del  $C_p$  hacia valores negativos) ligada a la aparición de estructuras vorticosas. Un caso especial puede visualizarse en el canal 11. El mismo se encuentra casi al borde de esa cara, en las proximidades de la cara a sotavento, y la repentina caída del  $C_p$  en la mitad final del largo total parece ser señal de la formación de vórtices con estructura cónica (ver Fig. 1(b)).

La Fig. 7 presenta gráficos similares a los anteriores, pero en este caso para canales en la sección a sotavento. Como puede intuirse, los mismos están caracterizados por tener  $C_{ps} < 0$ . Algo interesante puede apreciarse en el canal 18. En el mismo, las curvas para  $\beta = 45^\circ$  y  $90^\circ$  están superpuestas; indicando que el flujo se encuentra desprendido desde, al menos, los  $45^\circ$  de incidencia en esa región.

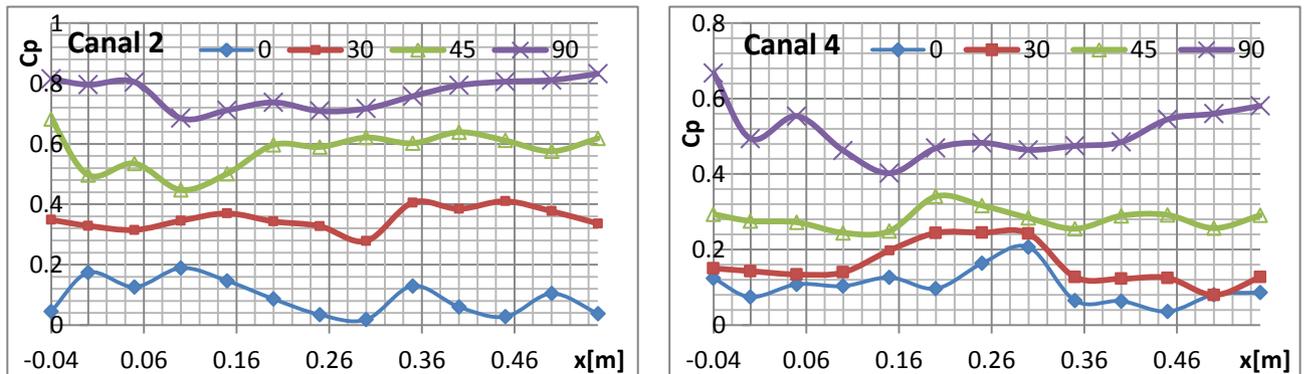


Figura 5 – Distribución de  $C_p=f(x)$  para la cara a barlovento (Canales 2 y 4).

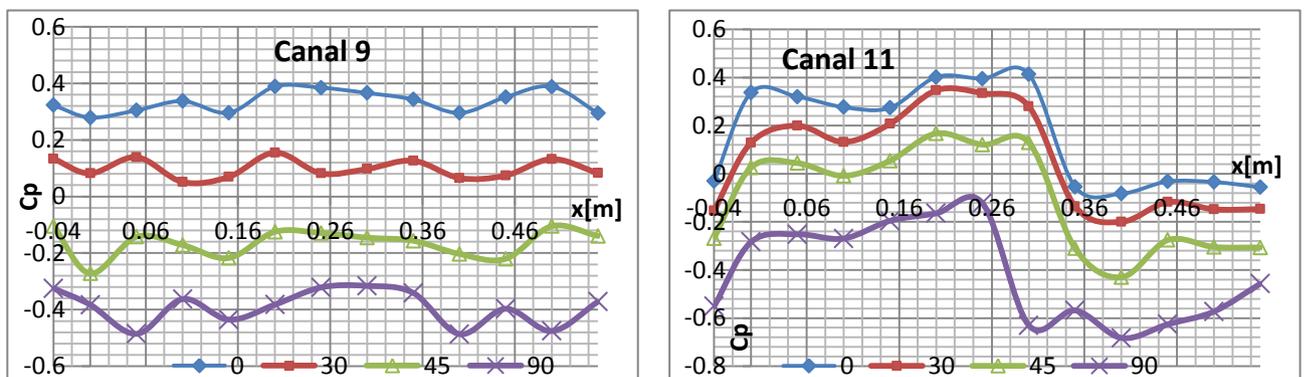


Figura 6 – Distribución de  $C_p=f(x)$  para el techo (Canales 9 y 11).



Las Fig.8 y Fig. 9 muestran la distribución del  $C_p$  a lo largo de la periferia (o contorno) de cuatro estaciones elegidas a lo largo del cuerpo. Puede observarse como un  $C_p > 0$  caracteriza la cara a barlovento (canales 1 a 6) y un  $C_p < 0$  es el predominante para las secciones del techo (canales 7 a 12) y sotavento (canales 13 a 18) a medida que se incrementa  $\beta$ .

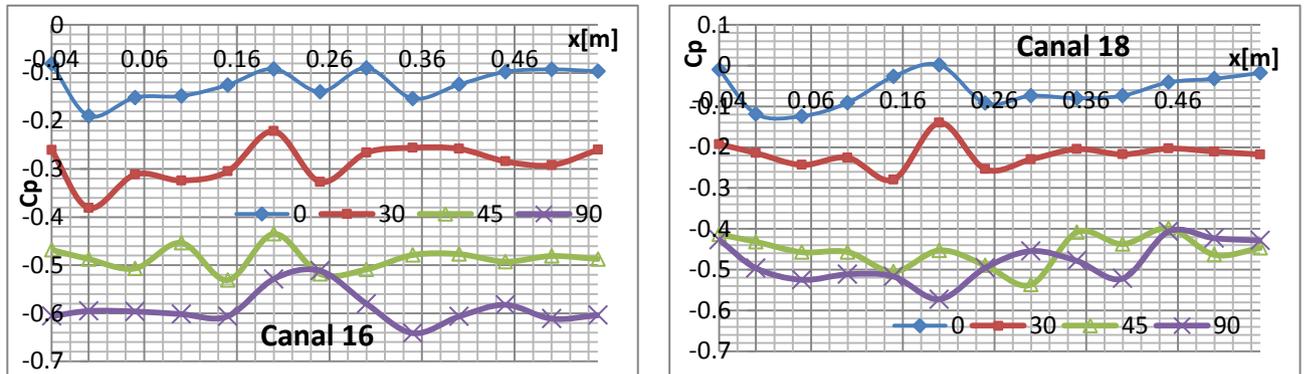


Figura 7 – Distribución de  $C_p = f(x)$  para la cara en sotavento (Canales 16 y 18).

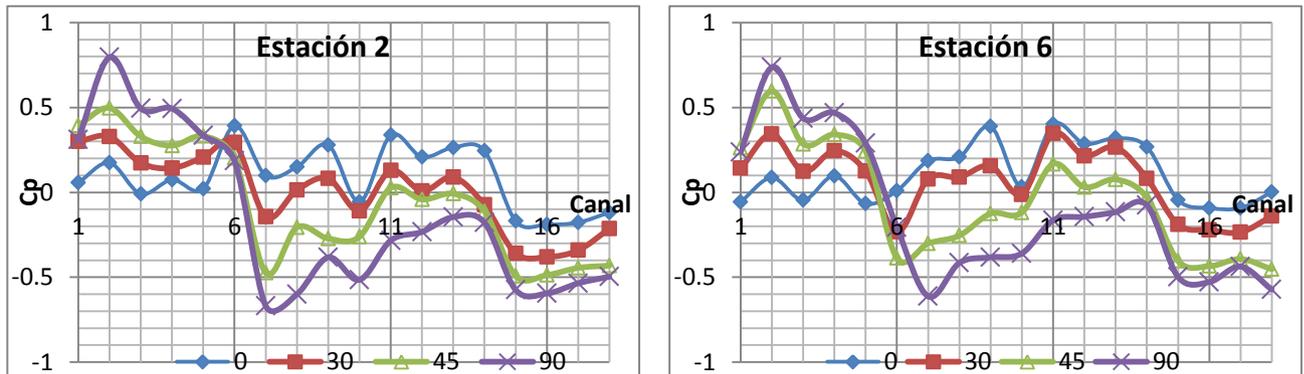


Figura 8 – Distribución de  $C_p = f(\text{canal})$ .

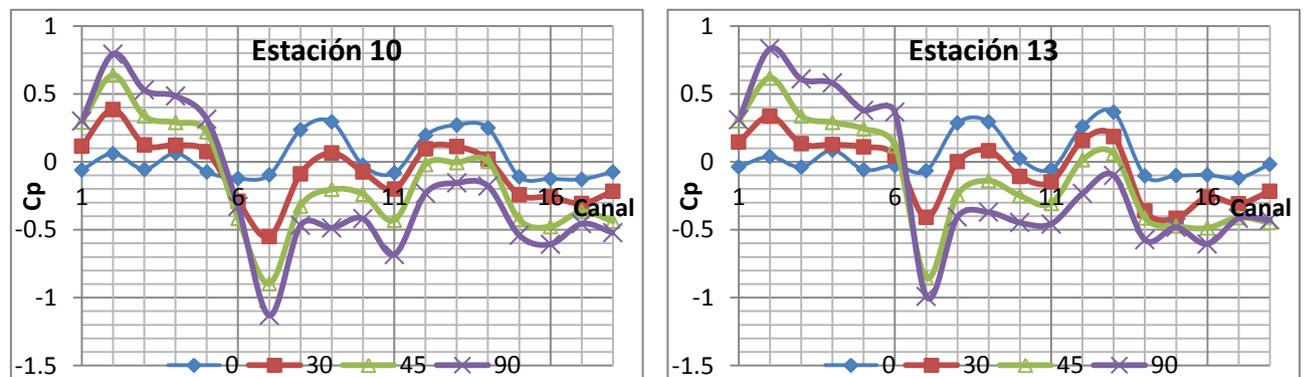


Figura 9 – Distribución de  $C_p = f(\text{canal})$ .

#### 4.2. Coeficiente de momento de balanceo ( $C_{Mx,lee}$ )

El momento de balanceo total (ec. (5)) será obtenido a partir de la sumatoria del producto entre la fuerza obtenida en la ec. (3) para cada canal y el brazo de palanca al centro de reducción de momentos según la ubicación del canal en



cuestión. Esta distancia será positiva o negativa según la fuerza dada por la ec. (3) genere un momento positivo o negativo según la terna de referencia dada en la Fig. 2. En la ec. (3) se utiliza un ancho de referencia para cada franja de sección considerada. En este caso fue definido un valor  $b=0.02\text{m}$  dado que representa la separación entre los canales. Por otro lado, la presión dinámica dada por el SAP está dada en  $\text{mmH}_2\text{O}$ , por ende, para tener consistencia de unidades y obtener el momento en  $\text{N}\cdot\text{m}$ , la misma deberá estar multiplicada por 9.8

$$M_{x,lee} = \sum_{i=1}^{16(\text{canales})} F_i * r_i \quad (5)$$

El coeficiente de momentos será obtenido a partir de la ec. (4) de la siguiente manera:

$$M_{x,lee} = \frac{1}{2} \rho_0 V_a^2 A_0 d_0 c_{Mx,lee}(\beta) \Rightarrow c_{Mx,lee} = \frac{M_{x,lee}}{\frac{1}{2} \rho_0 V_a^2 A_0 d_0} \quad (6)$$

El producto  $\frac{1}{2} \rho_0 V_a^2$  corresponde a la presión dinámica de la corriente libre que se obtiene por medición en el ensayo (nuevamente es necesario multiplicar por 9.8). Los valores de  $A_0$  (área de referencia)= $10\text{m}^2$  y  $d_0$  (distancia de referencia)= $3\text{m}$  están dados por la norma [5] en la sección 4 (Tabla 1). Debe considerarse que, al tener un modelo en escala, estas últimas variables deben dividirse por la escala del modelo por cada dimensión de longitud ( $1/24^3$  en total).

Por último, la norma de referencia [5] en su Anexo B establece la necesidad de realizar una corrección de las mediciones en función de la relación de bloqueo ( $x_B$ ). En su parte B.2 describe el método alemán que consiste en obtener un factor de corrección ( $f_{BL}$ ) en función de la relación de bloqueo y que solamente deberá ser aplicado al coeficiente del momento de balanceo. Además, en la misma sección se hace hincapié en que la corrección solo es necesaria para el rango dado por  $5\% < x_B < 15\%$ . Si bien para  $\beta=30^\circ$  la relación de bloqueo está por debajo del 5%, se decidió aplicar la corrección aunque, como es de suponer, sin ninguna modificación notoria al valor obtenido.

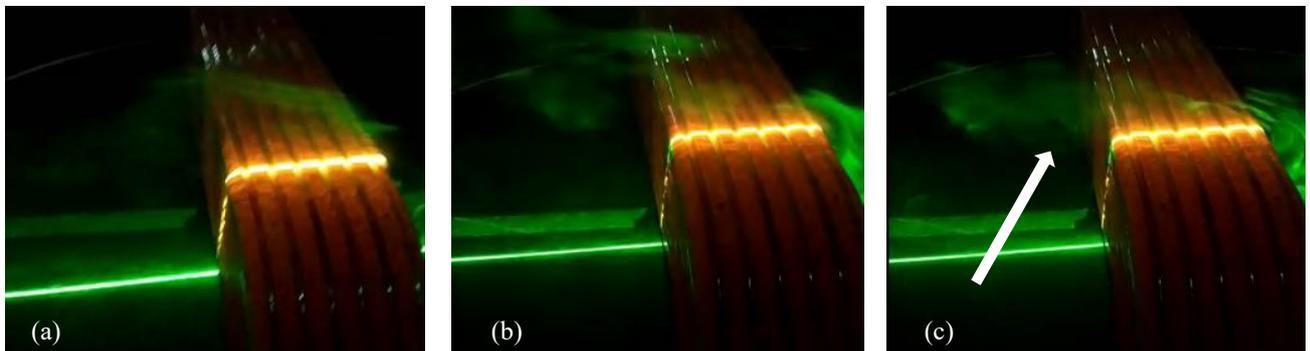
Lo expuesto en los párrafos anteriores se volcó en la Tabla 1 que se muestra a continuación:

**Tabla 1 – Coeficientes de momentos en función de  $\beta$ .**

$\beta$ [°]	$M_{x,lee}$ [N*m]	$c_{Mx,lee}$ (s/corregir)	$x_B$ [%]	$f_{BL}$ (factor de bloqueo)	$c_{Mx,lee}$ (corregido)
30	0.0630	0.293	4.5	1.006	0.295
45	0.3016	1.405	5.8	1.011	1.421
90	0.5327	2.482	6.8	1.015	2.51

### 4.3. Tomoscopía Laser (Laser Sheet)

En las Figs. 10(a)-(c) pueden visualizarse el flujo que circunda al cuerpo de ensayo en una sección determinada a través del empleo de la inyección de humo junto con un haz laser.



**Figura 10 – Estructuras vorticosas sobre el cuerpo de prueba: (a) y (b) muestran diferentes estadios de los vórtices que se forman en sotavento y (c) deja ver el cono de la estructura cónica.**



En las mismas es posible identificar las estructuras vorticosas que caracterizan a la región en sotavento. Incluso, en la Fig. 10(c) hasta puede observarse el centro de la estructura cónica (región oscura identificada con una flecha).

## 5. Conclusiones

El empleo de la toma de presiones para la obtención del momento de balanceo quedó tipificado por el presente trabajo y demostró la factibilidad de su uso. Entre sus ventajas se pueden citar que, en la práctica, resulta más económico su empleo en comparación a una balanza de 6 grados de libertad en función del costo de esta última. También, a diferencia de esta última, permite un análisis cualitativo al poder identificar regiones de desprendimiento de flujo a partir del análisis de los Cps. Sin embargo, presenta algunas desventajas. La principal es que es menos preciso el momento obtenido por esta vía ya que tiene una alta dependencia en la discretización del cuerpo empleada para disponer los puntos de medición de la presión. Un aumento exagerado de los puntos de muestra puede traducirse en la dificultad de generar modelos que puedan contener un número elevado de mangueras (o sensores) y en el manipuleo de las mismas al abandonar el túnel (así como la toma de datos en muchos canales simultáneamente). Claro está, un modelo destinado a una balanza no requiere un cuidado especial en este ítem, además de poder tener una terminación superficial mejor.

Referido al ítem de la terminación superficial del presente modelo y su posible influencia en la formación de los vórtices, la superficie acanalada no parece haber influenciado la generación de estos últimos dado que la superficie, conforme lo mencionado en la sección 3.1 del presente trabajo, fue recubierta por un film adhesivo para dejar la superficie lo más limpia posible aerodinámicamente. Por otro lado, las Figs. 8 y 9 muestran una distribución de  $C_p$  para una sección transversal dada que concuerda con lo expuesto en [2] en su Fig. 17. Por último, debe hacerse hincapié en que el fenómeno de vuelco por viento cruzado y la generación de torbellinos de desprendimiento no está restringido únicamente a cuerpos “limpios” aerodinámicamente. De hecho, puede observarse la Fig. 1(a) de este trabajo en la que se aprecia un tren que no corresponde a uno de alta velocidad.

En lo concerniente a los coeficientes obtenidos, los mismos están concordantes o en el mismo orden de magnitud con los valores presentados en [5] (Tabla E.9) aunque con valores menores dado que el modelo no es exactamente el mismo (la tabla está basada en ensayos hechos sobre un TGV Duplex escala 1:25), el cuerpo de prueba no fue discretizado al detalle y el  $Re$  del ensayo no pudo alcanzar el mínimo estipulado por [5] en su sección 5.3.4.5. ( $Re_{ensayo}=119426 < Re_{min}=2.5 \cdot 10^5$ ).

## Agradecimientos

Los autores de este trabajo gostaríamos de agradecer a los Ing. Aeronáuticos Ramiro Braco y Mariano Flores por su guía y asesoramiento en la etapa de impresión 3D del cuerpo utilizado durante el ensayo.

## Referencias

- [1] Orellano Alexander and Schober Martin, “Aerodynamic Performance of a Typical High-Speed Train”, Proceedings of the 4th WSEAS International Conference on Fluid Mechanics and Aerodynamics, Elounda, Grecia, 21 al 23 de agosto de 2006, 18-25, (2006)
- [2] Mulugeta Biadgo Asress, Simonovic Aleksandar, Svorcan Jelena and Stupar Slobodan, “Aerodynamic Characteristics of High Speed Train under Turbulent Cross Winds: a Numerical Investigation using Unsteady-RANS Method”, VOL. 42, No 1, 2014, FME Transactions, Serbia, 10-18, (2014).
- [3] Matsui Akitoshi, Watanabe Toru, Abe Yukinobu, “Aerodynamic force and moment measurement for crosswind stability assessment in a compact wind tunnel”, Vol. 4, No 3, Mechanical Engineering Journal, Japón, 17-34, (2017). [https://www.jstage.jst.go.jp/article/mej/4/3/4\\_17-00034/\\_pdf/-char/en](https://www.jstage.jst.go.jp/article/mej/4/3/4_17-00034/_pdf/-char/en)
- [4] Anderson John D. Jr., “Fundamentals of Aerodynamics”, Third Edition, McGraw-Hill Science/Engineering/Math, USA, 21, (2001).
- [5] Comité Técnico AEN/CTN 25, UNE-EN 14067-6, “Aplicaciones Ferroviarias. Aerodinámica, Requisitos y procedimientos de ensayo para la evaluación del viento cruzado”, España, (2011).



## Resistencias al avance de un tren

*Jorge Vicente Petroni<sup>a</sup>, Leonardo Plaun<sup>b</sup>*

<sup>a,b</sup> Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Buenos Aires, Medrano 950, C.A.B.A. - C1169AAQ, Argentina

\* Jorge V. Petroni, jorgepetroni@hotmail.com

### ABSTRACT

*The study of the resistances that are manifested in railway traction, it is within the discipline called Train Dynamics or Traction Mechanics. This branch of physics aims to define the dynamics of the movement of trains to establish as accurately as possible. The times required to circulate between two points on a railway line within a framework of maximum safety and comfort in the case of passenger services and optimum efficiency and effectiveness in the cargo transport service.*

*The main objectives of the Train Dynamics are:*

- *Know the dynamics of the movement of trains. That is the forces that act to make it happen.*
- *Compare different possible paths between two points of a railway from the perspective of energy consumption.*
- *Establish the times taken to travel two points of a railway line.*
- *Determine the towing capacity of a particular locomotive or formation.*
- *Determine the energy consumed to make a certain trip.*
- *Determine the power required for certain performance.*

*To do this the study is divided into the following units:*

- a) *Resistance to the advance of a train*
- b) *Adhesion – Rolling*
- c) *Tractive forces*
- d) *Fundamental equation of motion – Applications*

*This work aims to the physical aspect of the most significant resistances involved in the march. As well as its origin and influence on the provision of a railway service.*

*Keywords: Traction - Adhesion – Rolling*

### RESUMEN

*El estudio de las resistencias que se manifiestan en la tracción ferroviaria, se encuadra dentro de la disciplina denominada Dinámica de Trenes o Mecánica de la Tracción.*

*Esta rama de la física, tiene por finalidad definir la dinámica del movimiento de los trenes para establecer con la mayor precisión posible, los tiempos que se requieren para circular entre dos puntos de una línea de ferrocarril, dentro de un marco de máxima seguridad y confort, en el caso de los servicios de pasajeros y óptima eficiencia y eficacia en el servicio de transporte de cargas.*

*A continuación se mencionan los principales objetivos que persigue la Dinámica de Trenes.*

- *Conocer la dinámica del movimiento de los trenes, es decir, las fuerzas que actúan para que éste se produzca.*
- *Comparar distintos trazados posibles entre 2 puntos de un ferrocarril desde la perspectiva del consumo de energía.*
- *Establecer los tiempos insumidos para recorrer 2 puntos de una línea férrea.*
- *Determinar la capacidad de remolque de determinada locomotora o formación.*
- *Determinar la energía consumida para efectuar determinado recorrido.*
- *Determinar la potencia necesaria para determinadas prestaciones requeridas*

*Para ello, se divide su estudio en las siguientes unidades:*

- a) *Resistencias al avance de un tren*
- b) *Adherencia - Rodadura*
- c) *Fuerzas tractivas*
- d) *Ecuación fundamental del movimiento – Aplicaciones*

*Este trabajo pretende focalizar únicamente el aspecto físico de las resistencias más significativas que intervienen en la marcha, como así también su origen y su influencia en la prestación de un servicio ferroviario.*

*Palabras Clave: Tracción – Adherencia - Rodadura*



## 1. Introducción

El estudio de la capacidad de tracción de locomotoras, supone el conocimiento de las nociones básicas referentes a sus condiciones de utilización y a las condiciones de trazado de los trenes. Tales condiciones pueden estudiarse a través del análisis de los siguientes aspectos:

Los esfuerzos resistentes debido al movimiento en función a una velocidad dada.

Las limitaciones del esfuerzo de tracción ejercidas en la rueda a una velocidad dada, a causa de la adherencia global de las locomotoras.

El esfuerzo de tracción necesario en velocidad (noción de potencia de las locomotoras).

Los esfuerzos resistentes son una composición de esfuerzos para un tren (locomotora + material remolcado) producida a una velocidad constante.

Esta composición se da de la siguiente manera:

La suma de resistencias de cualquier naturaleza que, en línea recta y horizontal, se oponen al movimiento del tren (resistencia normal al movimiento).

La resistencia ocasional debido a curvas y la gradiente.

Los esfuerzos de inercia de las grandes masas (en los arranques y aceleraciones).

## 2. Resistencias al avance de un tren

Para que el movimiento de un tren se produzca, la fuerza provista por el vehículo motriz (fuerzas tractivas) deberá ser superior a la resistencia al avance de la totalidad del tren de análisis (fuerzas resistivas o resistencias al avance) sin superar el límite de la adherencia, por lo que es necesario conocer la naturaleza, composición y expresión todas las fuerzas intervinientes.

A continuación es posible introducirse en el concepto de las resistencias al avance que experimenta un tren al desplazarse por la vía, clasificarlas, describir la naturaleza de cada una de las mismas, determinar una expresión matemática teórica que las represente en el caso que sea posible, para luego determinar un modelo experimental que ayude a calcularlas de la manera más precisa posible. Se pueden clasificar con diversos criterios y con la amplitud que se requiera; a continuación se propone la siguiente clasificación:

Resistencias al avance en recta y horizontal  
Resistencias de inercia  
Resistencias eventuales

Resistencias planialtimétricas  
Resistencias adicionales  
Resistencias por fallas de mantenimiento

### 2.1 Resistencias mecánicas o de rodadura

La parte de la resistencia al avance que no tiene que ver con el efecto del aire exterior al tren se denomina *resistencia mecánica*. Se deriva, en el caso más general de la resistencia de rozamiento entre cojinete y muñón, de la rodadura entre las ruedas y carriles, de las irregularidades en la vía, así como de las pérdidas de energía en los aparatos de tracción y choque y en la suspensión de los vehículos a causa de los movimientos oscilatorios o parásitos que adquiere la masa suspendida.

#### 2.1.1 Resistencias debidas a la vinculación del eje con el cojinete.

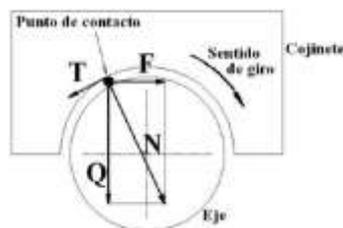


Figura 1



Figura 2

La caja de eje es el elemento que permite vincular el elemento móvil (eje / muñón) con el elemento fijo (bogie). Sus componentes son: Cuerpo. - Órgano de vinculación. - Órgano de engrase.

El órgano de vinculación puede ser con un cojinete (por fricción) o con rodamientos.



Se define a la fuerza de resistencia  $X_1$  como aquella fuerza tal que aplicada en el borde de la llanta produce un momento similar al producido por la fuerza de frotamiento eje / cojinete.

$$X_1 = f \cdot Q \cdot \frac{d}{D} \quad (1)$$

$Q \Rightarrow$  Peso que descarga esa rueda.  $f \Rightarrow$  Coeficiente rozamiento eje / cojinete.  
 $d \Rightarrow$  Diámetro del muñón del eje.  $D \Rightarrow$  Diámetro de la rueda.

En mecánica de tracción a las resistencias al avance se las suele expresar en forma relativa expresadas en kilogramo de resistencia por cada tonelada de tren., por lo que la expresión anterior se le deberá dividir por el peso total que descarga esa rueda (ton / ton) y multiplicarla por 1000 para que las unidades sean (kg / ton)

$$x_1 = f \cdot Q \cdot \frac{d}{D} \cdot \frac{1000}{Q+q} \quad (2)$$

Valores usuales de coeficientes		
Cojinete de fricción	f en el arranque	0,025
	f en régimen	0,005
Cojinete de rodamiento	0,001	

**2.1.2 Resistencias debidas a la deformación del conjunto rueda riel.**

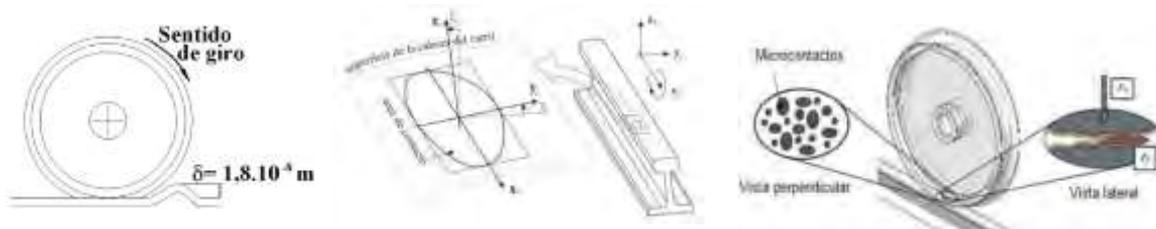


Figura 5

Respecto al contacto entre la rueda y el riel, está demostrado que dicho contacto es una superficie elíptica debida a la deformación de ambos elementos. Se supone que la rueda no se deforma al desplazarse pero el riel si lo hace, formándose una onda delante de la llanta.

Se define a la fuerza de resistencia  $X_2$  como aquella fuerza tal que aplicada en el borde de la llanta produce un momento respecto al eje de igual magnitud al generado como consecuencia de la reacción excéntrica de la vía debido a la formación del riel.

$$X_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \delta}{R}} \cdot (Q + q) \quad (3)$$

$Q \Rightarrow$  Peso que descarga esa rueda  
 $q \Rightarrow$  Peso no suspendido  
 $R \Rightarrow$  radio de la rueda  
 $\delta \Rightarrow$  Altura de la onda

Para expresarlo en kg / ton  $x_2 = X_2 \cdot \frac{1000}{Q+q} \quad (4)$

**2.1.3 Resistencias debidas a la conicidad de la llanta.**

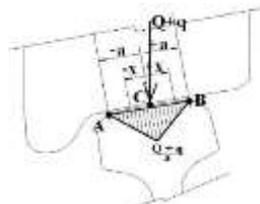


Figura 7

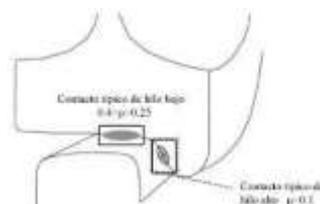


Figura 8

En el modo ferroviario, las llantas son cónicas, esto se hace principalmente para centrar la rodadura del eje del vehículo al eje de la vía y secundariamente ayuda a facilitar la inscripción del eje en curvas, ya que al tomarla y ser la llanta cónica, a radios mayores de la curva, se corresponderán con radios mayores de la pisada de la rueda.

Sea  $(Q+q)$  el peso que se descarga sobre la rueda, a el ancho de la llanta y suponiendo un diagrama lineal de tensiones sobre la línea de contacto rueda riel, solo un punto de esa línea no resbalará, si suponemos que ese punto es el punto medio de la línea de contacto – Centro instantáneo de rotación -, al tener la rueda la misma velocidad angular, los puntos que se corresponden con los radios menores a ese punto, resbalarán atrasándose a la corrida de la rueda, mientras que los puntos que se corresponden con los radios mayores resbalaran avanzando, estos



resbalamientos producen un frotamiento entre ambas superficies, disipándose energía, la cual es provista por la locomotora.

Se define a la fuerza de resistencia  $X_3$  como aquella fuerza tal que aplicada en el borde de la llanta produce el mismo trabajo durante un giro que el que generan las fuerzas de rozamiento entre los puntos de la llanta que resbalan respecto al riel, por ser las llanta cónica.

$$X_3 = \frac{2.f.a}{3.m.D} \cdot (Q + q) \quad (5)$$

Para expresarlo en kg / ton  $\Rightarrow$

$$x_3 = \frac{2.f.a}{3.m.D} \cdot 1000 \quad (6)$$

- $f = 0,3 \Rightarrow$  Coeficiente de rozamiento llanta – riel
- $a \Rightarrow$  Ancho de llanta.
- $m \Rightarrow$  Pendiente de conicidad (1:20 o 1:40)
- $D \Rightarrow$  Diámetro de la llanta.

**2.1.4 Resistencias debidas a irregularidades de la vía.**

Figura 9



Figura 10



Se analiza una rueda un instante antes y un instante inmediatamente después de pasar la discontinuidad. La distribución de los vectores velocidad en la rueda cambia abruptamente de dirección, al tener antes y después de la discontinuidad, distintos centros instantáneos de rotación, por lo cual habrá una variación de la energía cinética.

Se define a la resistencia  $X_4$  como aquella fuerza tal que aplicada en el borde de la llanta produce el mismo trabajo que la variación de la energía cinética generada por la existencia de las juntas durante una longitud  $L$  de análisis.

$$X_4 = \frac{1}{2} \cdot \frac{q.v^2.d^2}{g.R^2.l} \quad (7)$$

Para expresarlo en kg / ton  $\Rightarrow$

$$x_4 = \frac{1}{2} \cdot \frac{q.v^2.d^2}{g.R^2.l} \cdot \frac{1000}{Q+q} \quad (8)$$

- $Q \Rightarrow$  peso que descarga esa rueda.  $R \Rightarrow$  radio de la llanta.
- $q \Rightarrow$  peso no suspendido.  $l \Rightarrow$  longitud de los rieles.
- $g \Rightarrow$  aceleración de la gravedad.  $d \Rightarrow$  luz de la junta.
- $v \Rightarrow$  velocidad de circulación.

También se puede calcular la resistencia originada por un desnivel “h” entre las juntas

Para expresarlo en kg / ton  $\Rightarrow$  
$$x_4 = \frac{q.v^2.h}{g.R.l} \cdot \frac{1000}{Q+q} \quad (9)$$



Figura 11

**2.1.5 Resistencias debidas a la deformación del conjunto de vía.**

Algunos autores trabajan con resultados experimentales, como ser Wilson que propuso la siguiente fórmula:

$$x_7 = \frac{1020.h}{2.d} \quad (10) \quad (\text{Kg / ton})$$

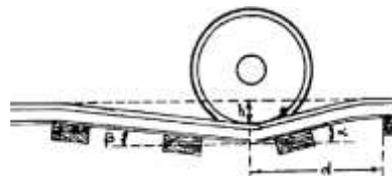


Figura 12



La relación  $h/d$ , es la inclinación de la vía, que varía entre  $1/250$  a  $1/600$ . Si tomamos una inclinación de  $1:400$  se llega a que  $x_7 = 1,275 \text{ kg / ton}$

## 2.2 Resistencias aerodinámicas

Es la resistencia que se genera al desplazarse un objeto de determinada forma sobre un fluido, en este caso el aire, por lo que claramente esta resistencia depende de las características de la superficie de ataque del objeto y de las características del fluido que atraviesa.

Denominamos *resistencia aerodinámica al avance* a la fuerza longitudinal que se opone al movimiento del tren como consecuencia de la interacción entre el tren y el aire circundante con el que choca y que lo envuelve.

En ausencia de viento exterior, la *resistencia aerodinámica al avance* es proporcional al cuadrado de la velocidad del tren.

Si bien son varias las componentes de la resistencia aerodinámica, la que prevalece es la frontal.

### 2.2.1 Resistencia Frontal.

Experimentalmente se verifica que esta depende de la forma de la superficie de ataque del tren, locomotora o coche cabeza, de la magnitud de la misma, de la densidad del fluido y del cuadrado de la velocidad.

$$X_8 = z \cdot \frac{\delta}{g} \cdot s \cdot v^2 \quad (11)$$

$z$	$\Rightarrow$ Coeficiente de forma.	Para superficies cuadradas, $z$ varía desde 0,48 a 0,64 para valores de $s$ de
$s$	$\Rightarrow$ Valor de la superficie.	0,10 a $1 \text{ m}^2$ , luego de $1 \text{ m}^2$ , $z$ no varía.
$g$	$\Rightarrow$ Aceleración de la gravedad.	
$\delta$	$\Rightarrow$ Densidad del fluido.	
$v$	$\Rightarrow$ Velocidad.	

Tomando como unidades kg, m, seg, y teniendo que  $\delta = 1,225 \text{ kg/m}^3$  para una temperatura de  $15^\circ \text{ C}$  y una presión atmosférica de 1030 milibares

$$X_8 = 0,0062 \cdot V^2 \quad (12) \quad \text{Para [V] en (km/h) Para expresarlo en kg / ton} \Rightarrow x_8 = \frac{X_8}{Q + q} \quad (13)$$

### 2.2.2 Resistencia Lateral.

Es la que genera la rugosidad lateral del tren al desplazarse por el fluido.

$$X'_8 = 0,000305 \cdot S_{lateral} \cdot v^2 \quad (14) \quad \text{Para [v] en m/seg}^2, S_{lateral} \text{ en m}^2 \text{ y } X'_8 \text{ en kg}$$

### 2.2.3 Resistencia por torbellinos que se generan bajo el piso del tren.

Son remolinos que se generan debajo del piso de la formación al circular. Son de difícil determinación y depende del largo de los coches y de las características del bajo piso.

### 2.2.4 Resistencia por succión de cola.

Es el enrarecimiento que se produce en el final del tren, se genera un vacío que lógicamente succiona las partículas sueltas, depende de la forma del último vehículo del tren y de la velocidad. En túneles es relativamente importante. De todas las resistencias aerodinámicas vistas la de más preponderante es la frontal.

## 2.3 Resistencias en vías electrificadas por el frotamiento entre las superficies de contacto

Son las que se generan debido al frotamiento un elemento fijo (tercer riel o catenaria) y un elemento móvil (patín o pantógrafo) Si bien son resistencias de un orden inferior a las anteriores, es conveniente saber que existen y tener una idea de su valor para poder afirmar que efectivamente se pueden despreciar.

### 2.3.1 Resistencia por frotamiento entre patín y tercer riel.

En este caso la energía eléctrica es provista por un tercer riel dispuesto a un costado de la vía, la misma puede ser de contacto inferior o superior.



En el caso de contacto superior, el patín alberga una pastilla, el que contacta el tercer riel con una fuerza de  $x$  kg, por lo que la fuerza de rozamiento será  $u \cdot x$ , donde  $u$  es el coeficiente de rozamiento entre esta y el tercer riel.

Para hallar la resistencia específica se deberá multiplicar por la cantidad de patines que estarán en forma simultánea en contacto con el tercer riel y dividir por el peso del coche.

$$X_9 = \frac{2 \cdot x \cdot u}{Q + q} \quad (15) \quad \text{Dando valores de resistencia casi despreciables del orden de los 0,2 kg / ton aproximadamente.}$$

### 2.3.2 Resistencia por frotamiento entre pantógrafo y catenaria.

Su determinación es similar a la descripta para el caso del patín / tercer riel y es de orden menor, desde el punto de vista mecánico, no así desde el punto de vista aerodinámico.

## 2.4 Formulas globales experimentales de la resistencia al avance en recta y horizontal

Por lo visto hasta el momento, se deduce que es muy difícil determinar en forma precisa cual es la resistencia al avance de un determinado tren, por lo tanto para hallarla es necesario recurrir a fórmulas experimentales.

Las formulas vistas anteriormente permiten inferir que el modelo a experimentar debe responder a la siguiente ecuación:

$$x \left( \frac{kg}{ton} \right) = a + b \cdot v + c \cdot v^2 \quad (16)$$

Donde los coeficientes:

- |                   |   |   |
|-------------------|---|---|
| $a$ ⇒ depende de: | - El diseño del rodado.   | - La conicidad de la llanta.              |
|                   | - La rigidez de los materiales.   | - Coeficiente de fricción eje – cojinete. |
|                   | - Coeficiente de fricción rueda – riel.   |   |
| $b$ ⇒ depende de: | - Las características del sistema de acople.  | - El sistema de suspensión.               |
|                   | - El frotamiento entre las caras activas de los rieles y las pestañas por movimiento de lazo. |   |
| $c$ ⇒ depende de: | - La forma del frente de la locomotora.   | - La superficie frontal.                  |
|                   | - El flujo que atraviesa (aire)   | - El peso de <b>todo el tren</b> .        |

El valor de la resistencia al avance en recta depende de características físicas del tren; en concreto, de su masa, de su forma, del área de su sección transversal y de su superficie mojada (que a su vez está muy influenciada por su longitud). La resistencia al avance también depende, y de forma muy importante, de la velocidad a la que circula.

### 2.4.1 Fórmulas de Davis

La expresión polinómica más habitual de la *resistencia al avance* de un tren en recta (y en horizontal), es conocida como “**Fórmula de Davis**” y es la siguiente:

$$r_{ov} \left( \frac{kg}{ton} \right) = 0,65 + \frac{13,15}{p} + 0,01398 \cdot V + 0,0009428 \cdot \frac{A}{P} \cdot V^2 \quad (17) \quad \text{Para vagones}$$

$$r_{oc} \left( \frac{kg}{ton} \right) = 0,65 + \frac{13,15}{p} + 0,00932 \cdot V + 0,0006411 \cdot \frac{A}{P} \cdot V^2 \quad (18) \quad \text{Para coches}$$

$$r_{ol} \left( \frac{kg}{ton} \right) = 0,65 + \frac{13,15}{p} + 0,00932 \cdot V + 0,0004525 \cdot \frac{A}{P} \cdot V^2 \quad (19) \quad \text{Para locomotoras}$$

Dónde:  $r_o$  ⇒ resistencia específica. [kg/ton]       $p$  ⇒ peso por eje del vehículo. [ton]  
 $P$  ⇒ peso total del vehículo. [ton]       $A$  ⇒ área frontal del vehículo. [m<sup>2</sup>]  
 $V$  ⇒ velocidad. [km/h]

Estas fórmulas son resultado de los ensayos logrados por el Ing. W. J. Davis Jr. de la General Electric.

En lo posterior, estas ecuaciones, serán las de uso general para calcular las resistencias en recta y horizontal.

### 2.4.2 Resistencia específica global de una formación compuesta



En el caso de tener una formación compuesta por locomotoras, coches y vagones, para hallar la resistencia global del tren, se realiza un promedio ponderado de las resistencias de los vehículos con sus pesos.

$$r_o = \frac{r_{ol} \cdot P_l + r_{ov} \cdot P_v + r_{oc} \cdot P_c}{P_l + P_v + P_c} \quad (22)$$

## 2.5 Resistencias Locales o Planialtimétricas

Estas resistencias aparecen cuando varía la condición de “en recta y horizontal” antes descripta.

### 2.5.1 Resistencias planialtimétricas.

Son las debidas a la aparición de curvas en el trazado y surgen debido a 3 factores:

Ante la ausencia de un sistema diferencial para evitar resbalamientos, al recorrer las ruedas de un eje distintas longitudes en una curva, ya que el par montado es una pieza monolítica.

A la dificultad de inscripción de dos o más ejes dispuestos paralelos en una base rígida en un sector de vía circular.

Al ataque de la pestaña sobre el borde interno del riel externo para el guiado del vehículo en la curva.

#### 2.5.1.1 Resistencias debidas al corrimiento longitudinal.

Estas resistencias se originan debido a los resbalamientos que se producen debido a que las ruedas están unidas monolíticamente a un eje. Al ser un conjunto que tendrá la misma velocidad angular, al tomar la curva, la rueda externa deberá recorrer una distancia mayor sobre el riel externo que la interna sobre el riel interno, por lo que de alguna manera resbalará respecto al riel.

A estos corrimientos se los denomina longitudinales, ya que tienen la dirección de la tangente de la curva en ese punto de contacto, al descargarse un determinado peso sobre la rueda, este resbalamiento generará un trabajo producto del frotamiento de las superficies. Si se analiza un determinado ángulo de recorrido de una curva, se puede determinar el rozamiento que genera este fenómeno, por lo tanto se define a  $C_1$  como aquella fuerza ficticia tal que aplicada en el borde de la llanta genera el mismo trabajo que el provocado por las fuerzas de rozamiento debidas a los corrimientos longitudinales durante un ángulo  $\alpha$  en una curva de radio  $R$ .

$$C_1 = \frac{f \cdot P \cdot s}{2 \cdot R} \quad (23) \quad \text{Para expresarlo en kg / ton} \Rightarrow c_1 = \frac{f \cdot s}{2 \cdot R} \cdot 1000 \quad (24)$$

Dónde:  $f$   $\Rightarrow$  coeficiente de rozamiento rueda - riel  
 $P$   $\Rightarrow$  peso total de la locomotora. [ton]  
 $s$   $\Rightarrow$  trocha interna. [m]  
 $R$   $\Rightarrow$  radio de la curva. [m]

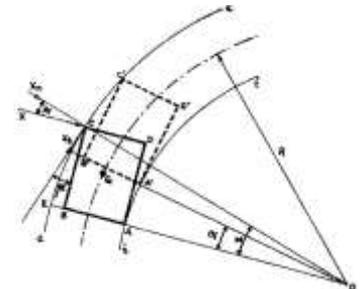


Figura 14

#### 2.5.1.2 Resistencias debidas al corrimiento radial.

Esta resistencia se genera debido a la dificultad de inscribir 2 o más ejes paralelos a una distancia  $e$  (empate) del boguie en un sector circular.

Se define a  $C_2$  como aquella fuerza ficticia tal que aplicada en el borde de la llanta genera el mismo trabajo que el provocado por las fuerzas de rozamiento debidas a los corrimientos radiales durante un ángulo  $\alpha$  en una curva de radio  $R$ .

$$C_2 = \frac{f \cdot P \cdot l}{2 \cdot R} \quad (25) \quad \text{Para expresarlo en kg / ton} \Rightarrow c_2 = \frac{f \cdot l}{2 \cdot R} \cdot 1000 \quad (26)$$

Dónde:  $f$   $\Rightarrow$  coeficiente de rozamiento rueda - riel  
 $P$   $\Rightarrow$  peso total de la locomotora. [ton]  
 $l$   $\Rightarrow$  empate. [m]  
 $R$   $\Rightarrow$  radio de la curva. [m]

#### 2.5.1.3 Resistencias debidas al corrimiento tangencial. – Es la que materializa el guiado



Se trata de la resistencia que genera el frotamiento de la pestaña de la rueda externa del eje sobre la cara activa del riel externo de la curva, siendo su valor el del guiado multiplicado por el coeficiente de rozamiento rueda riel.

$$C_3 = \frac{f^2 \cdot P}{2 \cdot l} \cdot (l + \sqrt{l^2 + s^2} + s) + f \cdot \frac{P}{4 \cdot R} \cdot (l + \sqrt{l^2 + s^2} + s) \quad (27)$$

$$\text{Para expresarlo en kg / ton} \Rightarrow c_3 = \frac{C_3 \cdot 1000}{P} \quad (28)$$

Por lo tanto, la fuerza total de rozamiento al avance en curva es  $c = c_1 + c_2 + c_3$

De lo descrito anteriormente se deduce que la resistencia global al avance en curva, responderá a una expresión que dependerá en forma directamente proporcional al valor del empuje y de la trocha e inversamente proporcional al radio de la curva.

### 2.5.1.5 Formulas globales experimentales de la resistencia al avance en curvas

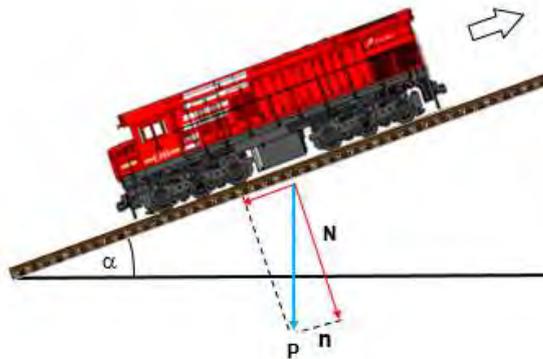
Si bien las expresiones matemáticas de este tipo de resistencias deben ser provistas por el fabricante del material rodante, se puede recurrir a fórmulas experimentales.

$$\text{Formula de Desdouts} \quad R_c \left( \frac{kg}{ton} \right) = \left( \frac{500 \cdot t}{R} \right) \quad (29) \quad \begin{array}{l} t = \text{trocha [m]} \\ R = \text{radio de la curva [m]} \\ l = \text{empate [m]} \end{array}$$

### 2.5.2 Resistencias altimétricas

Se denomina: Rampa: es toda variación creciente en la cota de la rasante.

Pendiente: es toda variación decreciente en la cota de la rasante.



$$R_i = P \cdot \text{sen } \alpha \quad (31)$$

$P$  = peso de la formación

$$r_i \left( \frac{kg}{ton} \right) = i \frac{0}{00} \quad (32)$$

Figura 15

Como en el modo ferroviario los ángulos de las rampas / pendientes son muy pequeños, por lo que el  $\text{sen } \alpha$ ,  $\text{tg } \alpha$  y  $\alpha$ , tienen valores casi idénticos y como a su vez los valores de las rampas / pendientes se expresan en 0/00, resulta que la resistencia al avance debida a la circulación en rampa  $r_i$  expresada en kg/ton, coincide en forma exacta con el valor de esa rampa expresada en 0/00.

### Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer al personal Jerárquico del Depósito de locomotoras de la Línea San Martín - Trenes Argentinos Operaciones-, por poner a nuestra disposición personal técnico afectado a las tareas de mantenimiento.

### Referencias

- [1] Texto Guía de Vías Férreas, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia, Octubre 2001
- [2] Mecánica de la Tracción, Ing. Emilio Natri, Escuela de Graduados, Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería. 1970
- [3] Apuntes de cátedra Dinámica de la Tracción, Ing Mariano Castro Durán, de la carrera de especialización en transporte Ferroviario, Universidad de Buenos Aires. Curso 2017



# Embarcaciones



# Mejoras en el diseño de anclas de barcos areneros que navegan en el Río Paraná

*Horacio M. Mirassou*

UTN FRGP, Hipólito Yrigoyen 288, General Pacheco B1617, Argentina

dirección de correo electrónico: hmirassou@yahoo.com

## ABSTRACT

*The sand used in the Greater Buenos Aires is extracted from the bottom of the Paraná River, and is transported in bulk to land by sand ships in the "pool" of each ship, which is a large open-air cargo hold. Every day these trips are made: a sand ship sails from the dock of his company with the empty pool to the place assigned as a loading place, stops there, with the bow located against the current, anchors with the two bow anchors, and located downstream at a suitable distance, in the chosen place the suction pipes are lowered until their lower ends are located on the bottom of the river, then aspirated a mixture of sand and water by special centrifugal pumps located in the engine room of the ship, the mixture is discharged into the pool, where the sand is decanted and the water returns to the river. When the pool is full the pumps are stopped, the suction pipes are hoisted, the anchors are maneuvered until the anchors are hoisted, and the return trip to the terrestrial installations where the sand will be discharged begins. Anchors of different designs and origins have been used in the sand ships. Each design may be suitable for different kinds of river or sea bottom. This paper describes some results obtained, and which is the preferred anchor design by the captains of these ships, according to the characteristics of the bottom of the Paraná River. Regulatory, functional and material resistance aspects are exposed to select the materials and define the design of the anchor product and its manufacturing process, to be built by a local SME industry.*

*Keywords:* Anchor, Hopper dredge, Design, Paraná River.

## RESUMEN

*La arena utilizada en el Gran Buenos Aires se extrae del fondo del Río Paraná, y se transporta a granel a tierra mediante barcos areneros en la "pileta" de cada barco, la cual es una gran bodega a cielo descubierto. Todos los días se realizan estos viajes: un barco arenero zarpa del muelle de su empresa con la pileta vacía, navega hasta el lugar asignado como cargadero, allí se detiene, con la proa ubicada contra la corriente fondea con las dos anclas de proa y se ubica río abajo a una distancia adecuada, en el lugar elegido se bajan los caños de aspiración hasta que sus extremos inferiores se ubiquen sobre el fondo del río, luego se aspira una mezcla de arena y agua mediante las bombas centrífugas de refoulado ubicadas en la sala de máquinas del barco, la mezcla se descarga en la pileta, donde se decanta la arena y el agua retorna al río. Cuando la pileta está llena se detienen las bombas, se izan los caños de aspiración, se maniobra hasta izar las anclas, y se inicia el viaje de retorno a las instalaciones terrestres donde se descargará la arena. En los barcos areneros se han utilizado anclas de diversos diseños y orígenes. Cada diseño puede ser adecuado para diferentes clases de fondo de río o de mar. En este trabajo se describen algunos resultados obtenidos, y cuál es el diseño de ancla preferido por los capitanes de estos barcos, según las características del fondo del Río Paraná. Se exponen aspectos reglamentarios, funcionales y de resistencia de materiales para seleccionar los materiales y definir el diseño del producto ancla y su proceso de fabricación, para ser construidas por una industria Pyme local.*

*Palabras Clave:* Ancla, Barco arenero, Diseño, Río Paraná.

## 1. Introducción

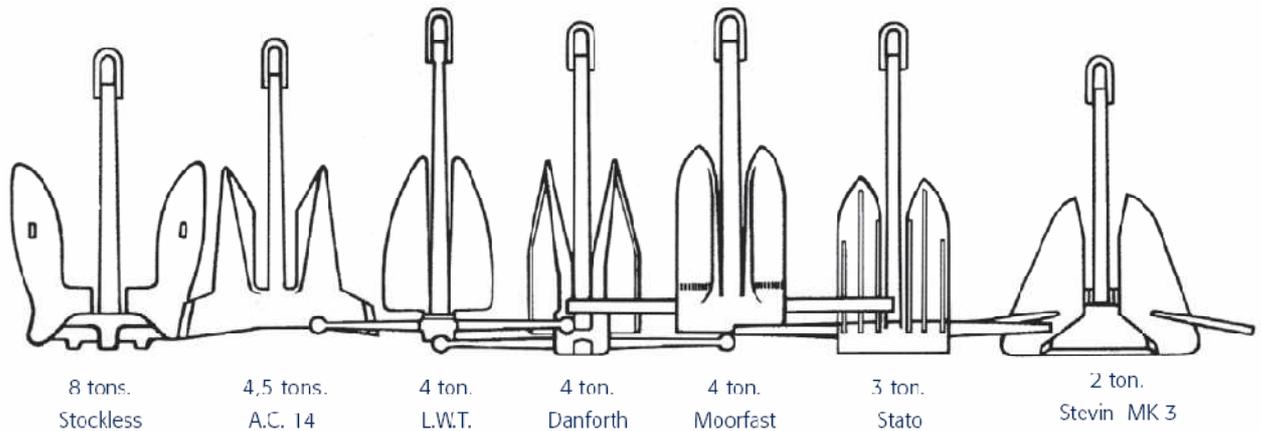
La mayor parte de la arena utilizada en el Gran Buenos Aires se extrae del fondo del Río Paraná, en sus brazos Paraná de las Palmas y Paraná Guazú, y se transporta a granel a tierra mediante barcos areneros en la "pileta" de cada barco, la cual es una gran bodega a cielo descubierto. En las últimas siete décadas se ha extraído arena de este modo, antes de 1950 la arena para el Gran Buenos Aires se importaba de Uruguay. Todos los días se realizan estos viajes: un barco arenero zarpa del muelle de su empresa con la pileta vacía, navega hasta el lugar asignado como cargadero, allí se detiene, con la proa ubicada contra la corriente fondea con las dos anclas de proa y se ubica río abajo a una distancia



adecuada, se detiene en el lugar elegido, se bajan los caños de aspiración hasta que sus extremos inferiores se ubiquen sobre el fondo del río, luego se aspira una mezcla de arena y agua mediante las bombas centrífugas de refoulado ubicadas en la sala de máquinas del barco, la mezcla se descarga en la pileta, donde se decanta la arena y el agua retorna al río. Cuando la pileta está llena se detienen las bombas, se izan los caños de aspiración, se maniobra hasta izar las anclas, y se inicia el viaje de retorno a las instalaciones terrestres, en donde la arena será descargada.

Existen barcos areneros de diferentes tamaños, características y antigüedad, en los que se han utilizado anclas de diversos diseños y orígenes. Pero cada diseño puede ser adecuado para diferentes clases de fondo de río o de mar.

En la Figura 1, tomada de [10], se muestran como ejemplo siete diferentes diseños de anclas con idéntico poder de agarre, dibujadas en la misma escala, de este modo se muestra la diferencia en peso, esto se declara en [10].



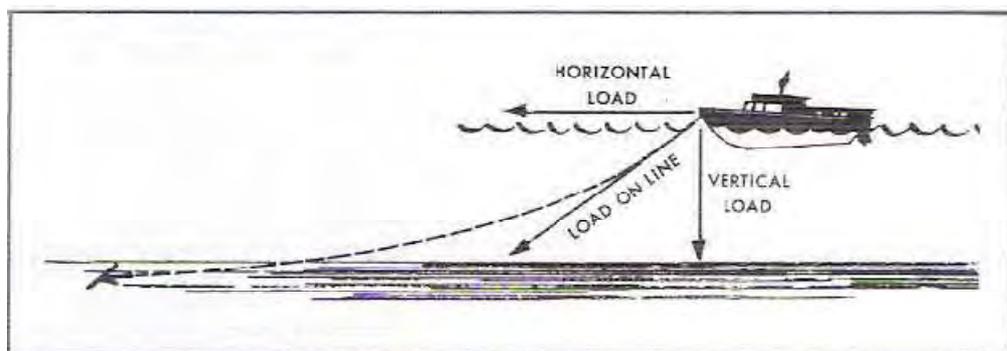
**Figura 1 – Algunos ejemplos de anclas de distinto diseño.**

No todos estos siete tipos de anclas se han utilizado en los barcos areneros y en el Río Paraná, pero sí por lo menos los tipos Stockless, Danforth y Offdrill (semejante a Stato), y algunos otros diseños no incluidos en la Figura 1.

En este trabajo se describen algunos resultados obtenidos, y cuál es el diseño de ancla preferido por los capitanes de estos barcos, según las características del fondo del Río Paraná en las zonas en donde trabajan. Se han considerado aspectos reglamentarios, funcionales y de resistencia de materiales para seleccionar los materiales y definir el diseño del producto ancla y su proceso de fabricación, para ser construidas por una industria Pyme local.

### **1.1. Fuerzas que debe soportar un ancla, distintos diseños de anclas y escalamiento**

En la Figura 2, tomada de [4], se muestra el diagrama de las fuerzas que actúan sobre una embarcación en el punto donde se vincula la cadena cuyo otro extremo se vincula a un ancla sujeta al fondo de un río, lago o mar. El valor de la fuerza que puede resistir este sistema es función de dos aspectos principales: por un lado las características del fondo y el diseño del ancla determinan la fuerza máxima que puede resistir el fondo hasta que el ancla pueda ser arrancada, por otro lado la fuerza que puede resistir el ancla antes de doblarse o colapsar, cuando el fondo tiene mayor resistencia, es función de su diseño, dimensiones y materiales, esto también ocurre con la cadena y elementos vinculados.



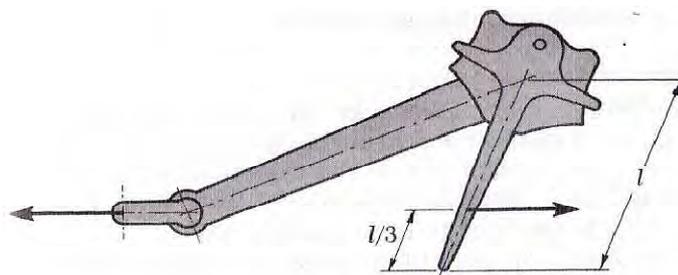
**Figura 2 – Cargas actuantes sobre un ancla y su embarcación.**



La resistencia y otras características de las diferentes clases de fondos pueden variar mucho, en parte por esto las anclas se fabrican con diseños tan diversos. Existen fondos de barro, arena, rocas, arcilla, mixtos, con corales, etc.

Huston [5] menciona que con el diseño original de ancla Stockless o Patent (patentado por Hawkins en 1821), para determinado tipo de fondo, se pueden resistir fuerzas de 25000 libras (111,2 kN) con un ancla cuyo peso es de 5,5 ton, equivalente a 11000 libras o 48,927 kN (ton es tonelada corta de 2000 libras), esto implica una relación entre fuerza de tiro y peso propio de 2,27. Este autor describe que en 1970 se continuaba utilizando el ancla diseño Stockless en grandes barcos, dada la facilidad que presenta para que la caña del ancla se aloje en el escobén (tubería por donde pasa la cadena de un ancla) cuando se la iza. Huston [5] también expresa que con anclas de diseño Danforth (patentado en 1939) se han logrado relaciones entre fuerza de tiro y peso propio entre 15 y 1000 para tamaños pequeños, y entre 10 y 30 para tamaños grandes. Por ejemplo, una fuerza de tiro de 120000 libras (533,76 kN) con un peso propio del ancla de 5 ton o 10000 libras (44,48 kN), esto resulta en una relación entre fuerza de tiro y peso propio de 12.

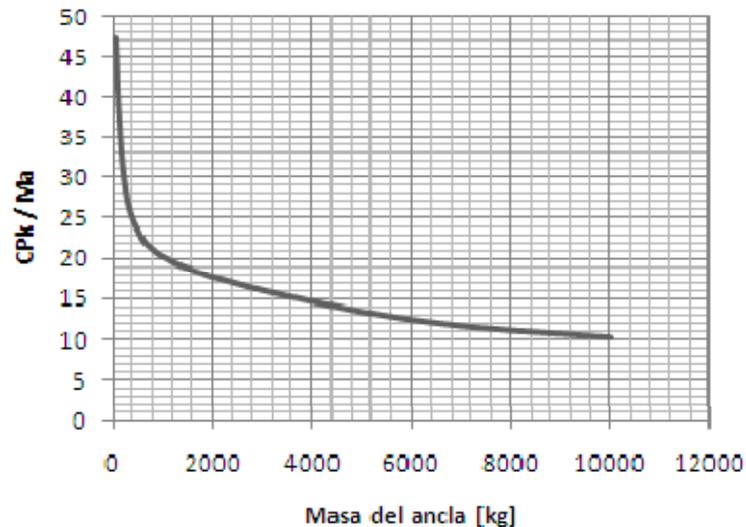
Para reglamentar el dimensionamiento de anclas, las Sociedades de Clasificación de buques como American Bureau of Shipping (ABS), y en nuestro país Prefectura Naval Argentina, han definido ensayos de anclas con aplicación de cargas con valores establecidos en función de la masa de cada ancla. En la Figura 3, tomada de [3], se muestra un esquema de aplicación de la carga de prueba sobre un ancla. En la Tabla 1 se dan algunos valores de cargas de prueba.



**Figura 3 – Vista lateral de un ancla con aplicación de la carga de prueba.**

**Tabla 1 – Cargas de prueba para anclas.**

Masa del ancla Ma [kg]	Carga de prueba CP [kN]	Carga de prueba CPk [kgf]	Carga de prueba C <sub>ABS</sub> [kgf]	Relación CPk/Ma [kgf/kg]
50	23,2	2366	2370	47,3
100	39,1	3987	3990	39,87
200	61,3	6251	6250	31,25
300	79,6	8117	8110	27,05
400	97,9	9984	9980	24,95
500	116	11829	11800	23,65
600	132	13461	13500	22,43
700	149	15195	15200	21,71
800	166	16928	16900	21,16
900	182	18560	18600	20,62
1000	199	20294	20300	20,29
1200	231	23557	23600	19,63
1500	278	28350	28300	18,89
1700	307	31307	31300	18,41
2000	349	35590	35600	17,79
4000	577	58842	58800	14,71
6000	735	74954	74900	12,49
8000	877	89435	89400	11,17
10000	1010	102998	103000	10,29



**Figura 4 – Relación CPk/Ma en función de la masa del ancla Ma.**

En la Tabla 1 se muestran 19 valores de cargas de prueba para anclas en función de sus masas (Ma) definidas en la primera columna, cuya unidad es [kg] (kilogramo masa). En la segunda columna se muestran los valores de cargas de prueba (CP) expresados en [kN] (kiloNewton). En la tercer columna (CPk) se expresan esas mismas cargas de prueba en la unidad [kgf] (kilogramo fuerza), considerando esta relación:  $[kgf] = 9,806 [N]$ .

Los datos de la primera y segunda columna están tomados de [2] Tabla B1, en la que se dan 156 pares de valores de masas de anclas y sus correspondientes cargas de prueba, de los cuales en la Tabla 1 se han reproducido solamente 19.

Los mismos 156 pares de valores mencionados también están publicados en [3] Table 43.7, las masas tienen el mismo valor que en [2] Tabla B1, pero las cargas de prueba están expresadas en la unidad kilogramo fuerza. Los valores correspondientes están en la cuarta columna de la Tabla 1 con la denominación  $C_{ABS}$ . Comparando estos datos con los calculados CPk en la tercer columna se puede observar una gran similitud, se infiere que las pequeñas diferencias se deben al redondeo de cifras, al definir los valores de cada tabla expresados en diferentes unidades: [kN] versus [kgf].

El Sistema Internacional de Unidades (SI) expresa las fuerzas en [N] y las masas en [kg], y ha omitido al kilogramo fuerza, pero esta unidad fue muy utilizada en casi todo el siglo XX, y ha resultado ser de gran utilidad el hecho de que el valor numérico de la masa de un objeto expresado en [kg] sea igual al valor de su peso propio expresado en [kgf].

En [3] Table 43.7 los pares de valores están denominados como peso propio de ancla (weight of anchor) y carga de prueba (proof test), ambos expresados en kilogramo fuerza, aunque la notación utilizada en ambas columnas es [kg].

En la quinta columna de la Tabla 1 se muestra la relación CPk/Ma, cuyos valores numéricos son iguales a los que resultan de calcular la relación entre carga de prueba y peso propio de cada ancla, si ambos se expresan en [kN].

En la Figura 4 se muestra la curva de los valores de CPk/Ma en función de Ma expresada en [kg]. Se puede observar cómo decrece la relación CPk/Ma a medida que crece la masa del ancla a ensayar. Esto se debe al conocido fenómeno que ocurre con estructuras de distintos tamaños y dimensiones proporcionales: a mayores dimensiones, la masa (y por lo tanto el peso propio) crece en mayor proporción que la resistencia mecánica ante cargas de igual dirección y sentido.

Por ejemplo, si se comparan dos vigas en voladizo (con un extremo empotrado y el otro libre) de sección constante maciza cuadrada (o circular), de igual material, y de modo que las dimensiones de una de estas vigas son exactamente el doble que las de la otra, el volumen (y por lo tanto la masa y el peso propio) de la viga grande será ocho veces mayor que el de la otra. También será ocho veces mayor el módulo resistente  $W_x$  de la sección empotrada, y si se admite la misma tensión máxima, resulta ser que el máximo momento flexor admisible es también ocho veces mayor en la viga grande con respecto a la otra. Pero se debe considerar que la longitud de la viga grande es el doble que la de la otra, por lo tanto la carga aplicada sobre la viga grande podrá ser solamente cuatro veces mayor a la aplicada sobre la otra. Como ejemplo se pueden establecer las siguientes relaciones entre datos obtenidos de la Tabla 1 y de la Tabla B1 de [2]:

CP para un ancla de 400 kg es 97,9 kN, 4,22 veces mayor a 23,2 kN, que es CP para un ancla de 50 kg

CP para un ancla de 1600 kg es 292 kN, 4,76 veces mayor a 61,3 kN, que es CP para un ancla de 200 kg

CP para un ancla de 4000 kg es 577 kN, 4,97 veces mayor a 116 kN, que es CP para un ancla de 500 kg

CP para un ancla de 12000 kg es 1110 kN, 3,99 veces mayor a 278 kN, que es CP para un ancla de 1500 kg

CP para un ancla de 48000 kg es 2730 kN, 3,71 veces mayor a 735 kN, que es CP para un ancla de 6000 kg



En estos cinco casos se puede observar que la relación entre cargas de prueba CP es aproximadamente 4 para anclas cuya relación entre masas es exactamente 8. La relación entre los valores de CP no es exactamente 4, dado que un ancla considerada como un sistema estructural no es comparable en todos los aspectos con una viga en voladizo, salvo la caña, que es el componente que mayor semejanza presenta. Los brazos o uñas, que se entierran en el fondo, estarán sometidos a cargas cuya distribución sobre la superficie de cada brazo dependerá en parte de las características mecánicas del suelo.

En la definición de los valores de CP, las Sociedades de Clasificación de buques y otras Autoridades Navales han tenido en cuenta la información acumulada de origen empírico resultado de la experiencia en el uso de anclas durante décadas. También se han realizado numerosos ensayos de fondeadero para efectuar mediciones, un valor característico de cada tipo de ancla y el fondo ensayados es la relación entre la fuerza de retención lograda y el peso propio (o la masa) del ancla. Aspectos tales como la resistencia de materiales de las anclas, su resistencia a la fatiga, etc., han sido tenidos en consideración para definir los valores de las cargas de prueba CP.

Por otro lado, el modo de escalamiento utilizado para definir las dimensiones de cada tamaño de ancla de un diseño determinado, suele ser el siguiente: la relación entre dimensiones correspondientes entre dos anclas de diferente tamaño, cuyas masas son  $M_1$  y  $M_2$ , es igual al valor de la raíz cúbica de la razón entre  $M_1$  y  $M_2$ . Por ejemplo, si  $M_2$  es 8 veces mayor a  $M_1$ , cada dimensión del ancla (2) es el doble de la dimensión correspondiente del ancla (1). Esto se puede observar en un catálogo dado por un fabricante de anclas, como el de acceso público [10], en el cual esas relaciones se dan de ese modo en los ocho diseños de ancla presentados. En la Figura 5 se muestra un extracto de ese catálogo: para anclas sin cepo tipo “Hall”, un esquema con cotas genéricas y una parte de la tabla con dimensiones en función del peso propio nominal (o la masa) de cada ancla. La tabla completa incluye 62 tamaños, el mayor es de 20000 kg.

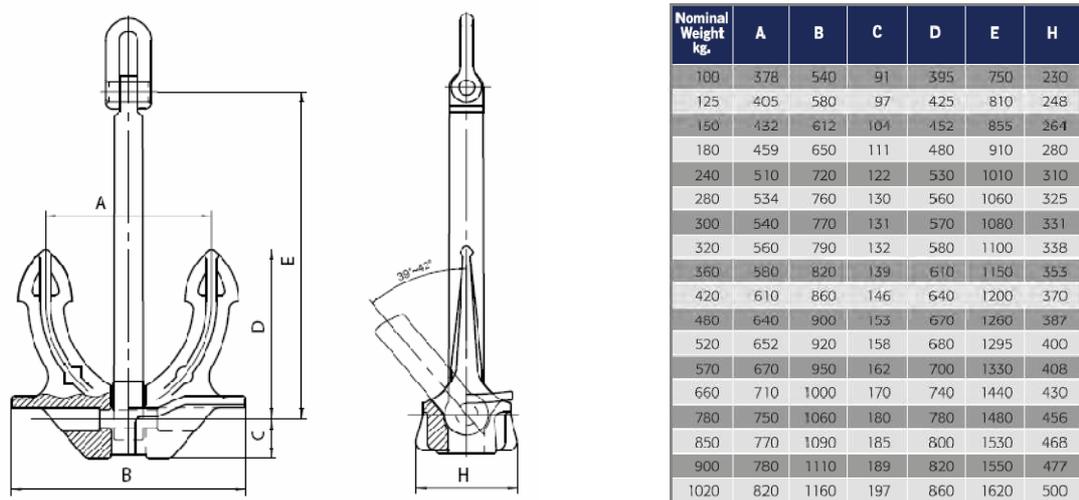


Figura 5 – Dimensiones de anclas sin cepo (stockless) tipo “Hall” en función de su peso propio nominal.

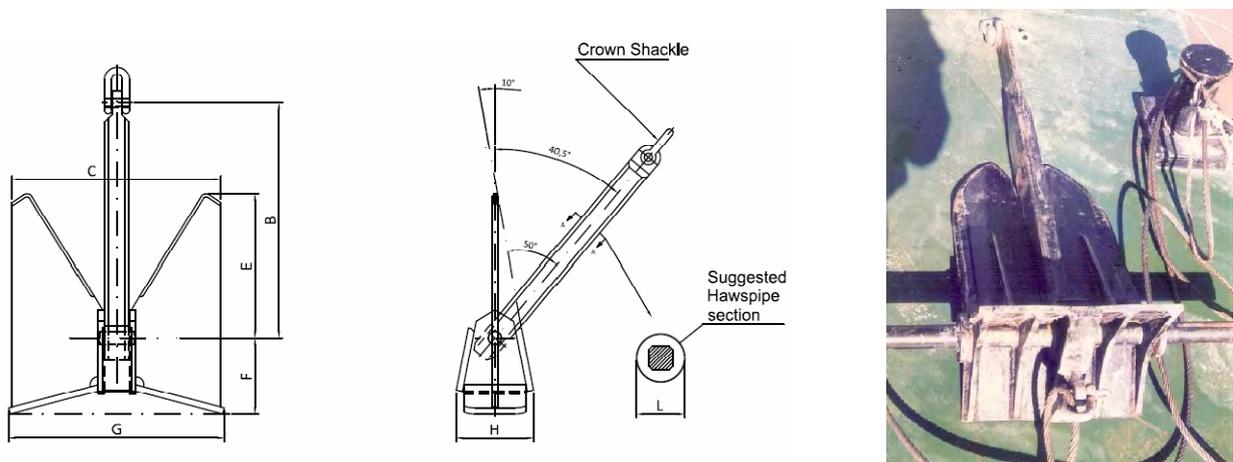


Figura 6 – (a) Diseño de ancla tipo “PTW+”; (b) Fotografía de un ancla tipo “Offdrill” de 200 kg.



En la Figura 6(a) se muestra el diseño de ancla de alto poder de agarre tipo “PTW+” obtenido del catálogo [10].

La Figura 6(b) es una fotografía de un ancla tipo “Offdrill” de 200 kg de fabricación nacional utilizada en la draga de cortador “Santa Mónica”, que trabajó en el relleno de la isla Santa Mónica, perteneciente al Delta jurisdicción Tigre.

En la Fig. 17-2 de [6] se dan dimensiones de este tipo de ancla y valores de fuerzas de retención para fondos de arena o de barro, en función del peso propio de cada ancla y del ángulo formado por la cadena con la caña. Para un ángulo de 0° y fondo de arena la fuerza de retención varía entre 35,5 y 13,4 veces el peso propio de anclas de 454 a 13606 kg de masa. Para otros ángulos positivos (6° y 12°) esa fuerza es menor, también para todos los casos con fondo de barro.

En algunos casos el valor de ese ángulo puede ser negativo, entonces el tiro de la cadena, o del cable, tiende a enterrar más aún al ancla, esto puede ocurrir en trabajos con dragas con cortador.

Turner [6] expresa que el valor óptimo del ángulo formado entre la caña y los brazos (en una vista lateral de este tipo de ancla) para fondos de arena es de 34°, y 50° para fondos de barro. Este autor declara que a fines del siglo XX la mayoría de las anclas en uso eran de alguna forma de ancla patentada tales como las del tipo Danforth, Stato o Stevin. La fuerza de retención de estas anclas puede variar entre 6 y 30 veces su peso propio, según su tamaño y el tipo de fondo.

Actualmente en Argentina (y en otros países) los reglamentos permiten que los armadores elijan el tipo de ancla a utilizar, pero la cantidad y la masa de las anclas se definen con la Ordenanza Marítima [2] en función del tipo de buque, sus dimensiones, desplazamiento, tipo de navegación, etc. Para barcos areneros de navegación fluvial en la zona Delta, se calcula el valor denominado Numeral de Equipo NE1 con la ecuación 1.1 de la Parte C, con este valor se ingresa a la Tabla C1 de [2] y se obtiene la cantidad de anclas y su masa. En [2] además se consideran otros aspectos, pero no se incluyen en este texto para no acrecentar su extensión.

Por ejemplo, para un barco cuyo NE1 resultó valer aprox. 500, se definieron dos ancla de 1500 kg c/u, los datos principales de este barco son: eslora= 90m, manga= 15m, calado= 3,162 m, área expuesta a un viento desde proa= 150 m<sup>2</sup> aprox., máx. desplazamiento= 3800 m<sup>3</sup> aprox., velocidad de navegación= 11 nudos = 20,372 km/h = 5,659 m/s, potencia total demandada por dos hélices a los motores propulsores (a la velocidad de 11 nudos)= 1440 CV= 1059 kW.

Con estos datos de velocidad y potencia es fácil calcular la fuerza de resistencia total del buque al avance (para esa velocidad) con la ecuación [16.8] dada en [1] y con su explicación correspondiente, que expresa que la potencia efectiva es igual al producto de los módulos de la fuerza y la velocidad, esto dividido por el valor de la eficiencia propulsiva es igual a la potencia demandada a los motores. Para esta clase de casco se puede estimar en 0,55 al valor de la eficiencia propulsiva, entonces resulta que el módulo de la fuerza de resistencia total del buque al avance es aprox. 103 kN (10504 kgf) para una velocidad de 5,659 m/s. En este cálculo no se considera la posible carga causada por un viento desde proa, en ese caso con una fuerza de empuje de las hélices aprox. semejante se lograría una menor velocidad de avance.

Cuando el barco está fondeado su velocidad respecto de tierra firme es nula, pero la corriente del río ejerce una fuerza de empuje sobre el casco. La velocidad media de esta corriente en el Río Paraná Guazú puede variar entre 0,5 y 2 m/s, según el ancho (entre 1 y 2 km) y la profundidad (entre 12 y 30 m) de cada tramo, con un caudal medio de 14000 m<sup>3</sup>/s.

La fuerza de empuje sobre el casco es proporcional a la velocidad elevada al cuadrado, esto puede deducirse de la ecuación [16.1] de [1]. Suponiendo un caso extremo en el cual la velocidad de la corriente fuese 5,659 m/s, la fuerza de empuje sobre el casco valdría 103 kN, teniendo en cuenta lo calculado arriba. Para un ancla de 1500 kg la carga de prueba (dada en la Tabla 1) es de 278 kN, restando a este valor 103 kN, resultan 175 kN disponibles para resistir una fuerza de empuje sobre el casillaje y demás obra viva, causada por un viento de proa. La presión media se puede calcular como 175 kN divididos por el área de 150m<sup>2</sup>, el resultado es 1,167 kN/m<sup>2</sup> (119 kgf/m<sup>2</sup>), esto puede ser causado por un viento cuya velocidad es 33 m/s (119 km/h) si la obra viva equivaldría a una placa plana perpendicular a la dirección del viento. Esta velocidad tan alta es poco frecuente. En estos cálculos se consideró una sola ancla, con dos anclas se tiene un coeficiente de seguridad de 2. En el Río Paraná zona Buenos Aires es más probable que el fondo ceda antes que colapse un ancla, cuando las fuerzas son grandes. También es posible que un ancla resista fuerzas bastante mayores a la carga de prueba, según sea su diseño y material. En algunos casos puede colapsar la cadena antes que el ancla o el fondo.

## 1.2. Materiales para anclas

En [2] Parte B Sección 1.2 se definen los materiales aceptados para construir anclas: acero fundido, acero forjado, o planchas de acero laminado, éstas pueden ser de acero estructural de grados A, B, D, E, según el espesor:

Grado A: espesor menor o igual a 20 mm

Grado B: espesor mayor a 20 y menor o igual a 25 mm

Grado D: espesor mayor a 25 y menor o igual a 40 mm

Grado E: espesor mayor a 40 y menor o igual a 50 mm

En Table 43.1 de [3] se dan valores de composición química y características mecánicas de estos aceros laminados:

Contenido máximo de carbono: Grado A: 0,23% Grado B: 0,21% Grado D: 0,21% Grado E: 0,18%

Contenido de Manganeso: Gr.A: 2,5xCmín. Gr.B: 0,8 a 1,1% Gr.D: 0,7 a 1,35% Gr.E: 0,7 a 1,35%

Resistencia a la tracción: 41 a 50 kgf/mm<sup>2</sup> (402 a 490 MPa) para todos los grados

Tensión de fluencia mínima: 24 kgf/mm<sup>2</sup> (235 MPa) para todos los grados



Elongación mínima:	21% en 200 mm	para todos los grados		
Ensayo de impacto Charpy:	Grado A:	Grado B:	Grado D:	Grado E:
Temperatura:		0° C (esp.>25mm)	-10° C	-40° C
Energía probeta longitudinal:	no requerido	2,8 kgfm (27,46 Nm)	2,8 kgfm (27,46 Nm)	2,8 kgfm (27,46 Nm)
ó				
Energía probeta transversal:	no requerido	2 kgfm (19,61 Nm)	2 kgfm (19,61 Nm)	2 kgfm (19,61 Nm)

Estas son las características principales de las Chapas Navales utilizadas en la construcción de cascos de buques. Los contenidos de Carbono y Manganeso les permiten absorber las energías del ensayo Charpy especificadas para bajas temperaturas. Se pueden comparar algunos de estos valores con los correspondientes de aceros SAE 1020 y SAE 1010:

En la Figura 3.21 de [8] se muestran resultados de ensayos Charpy de probetas de acero SAE 1020 (con 0,2% C) laminado en caliente, a distintas temperaturas. Realizando la conversión de unidades de energía al Sistema SI se obtiene:

Energía medida en el ensayo Charpy: 22,9 Nm con temperatura 0° C  
15,9 Nm con temperatura -10° C  
10,0 Nm con temperatura -40° C

De la Figura 2-10 de [7] se obtienen estos valores para un acero con 0,2% C trabajado en frío:

Resistencia a la tracción: 77500 psi = 54,5 kgf/mm<sup>2</sup> = 534 MPa  
Tensión de fluencia al 0,2%: 66000 psi = 46,4 kgf/mm<sup>2</sup> = 455 MPa  
Elongación en la fractura: 19%

De la Figura 7-3 de [7] se obtienen estos valores para un acero SAE 1010 (con 0,1% C):

Resistencia a la tracción: 54100 psi = 38 kgf/mm<sup>2</sup> = 373 MPa (92,7% de 402 MPa mínimo de la Chapa Naval)  
Tensión de fluencia: 29600 psi = 20,8 kgf/mm<sup>2</sup> = 204 MPa (86,8% de 235 MPa mínimo de la Chapa Naval)  
Elongación en la fractura: 40% (1,9 veces mayor a 21% mínimo de la Chapa Naval)

La capacidad para absorber la energía de impacto aumenta al crecer la elongación en la fractura y el área encerrada bajo el diagrama  $\sigma, \epsilon$ . Por esto, a igual volumen, con acero SAE 1010 se puede absorber más energía que con SAE 1020.

## 2. Diseño de ancla preferido en los barcos areneros de una importante empresa

En la Figura 7(a) se muestra el diseño de ancla preferido en los barcos de una importante empresa arenera. Para esta preferencia se consideró: la fuerza de retención, la facilidad para retirar al ancla del fondo cuando es necesario, la facilidad para maniobrar, y el diseño simple que permite fabricar un ancla con placas de acero unidas con soldadura.

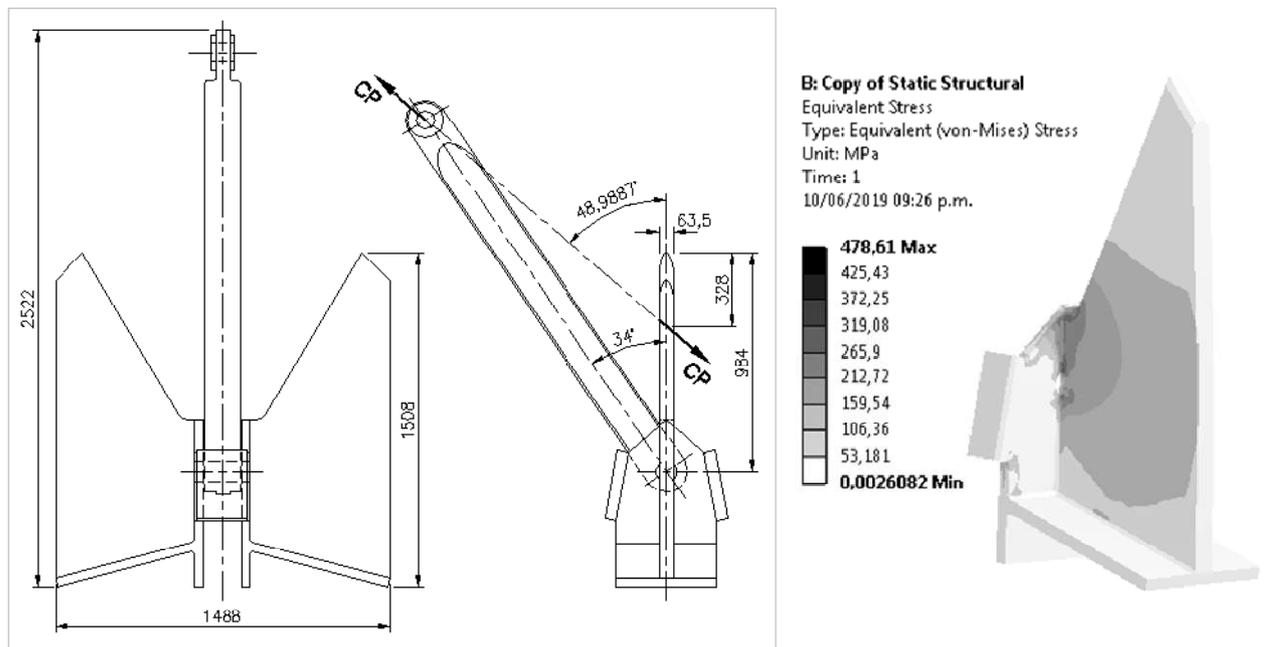


Figura 7 – (a) Ancla con carga de prueba; (b) Tensiones de Von Mises calculadas con programa Ansys



Se muestra un ancla de 1500 kg: en la vista frontal la caña está ubicada en dirección vertical, en la vista lateral la caña está girada haciendo tope con el cuerpo al cual pertenecen las uñas. Se incluye en esta vista el esquema de aplicación de la carga de prueba CP de 278 [kN], según lo explicado antes. Se puede ver que la distancia 328 mm (en la sección de aplicación de CP) es la tercer parte de 984 mm, que es la distancia desde el centro del pivote al extremo superior de las uñas, según lo establecido en la Figura 3. Esto también se especifica en la Ordenanza Marítima [2] en 1.3.2.

El ángulo que forma la caña con el eje de simetría de las uñas es de 34°, es adecuado para fondos de arena según [6].

Este diseño se parece al mostrado en la Figura 6(a), pero no es completamente igual, por ejemplo, la sección de la caña y el ángulo de giro (haciendo tope con el cuerpo central) son diferentes. Tampoco son iguales las dimensiones generales para anclas de 1500 kg, aunque las diferencias no son grandes, excepto las longitudes de las cañas.

En la Figura 7(b) se muestra un gráfico de las tensiones de Von Mises obtenidas con el código Ansys (programa de elementos finitos) en un modelo del cuerpo con uñas, sin incluir la caña y la barra de pivote. Se modelizó solamente una mitad del cuerpo del ancla, dada la simetría respecto a un plano central. En la carga de datos se introdujo la condición de simetría. Esto se hizo para aprovechar mejor la capacidad de cálculo de la computadora utilizada. En la mitad faltante debe ser igual la distribución de tensiones. La carga aplicada con la dirección indicada es 139 [kN], la mitad de CP. Se cargaron condiciones de vínculo que equivalen al contacto con la caña y la barra de pivote, no modelizados en este caso.

Se puede observar que en aprox. el 85% del cuerpo, en esta vista, las tensiones de Von Mises son menores a 106 [MPa], y solamente en aprox. 3% del cuerpo se superan los 159 [MPa], y en pocos puntos se superan los 212 [MPa].

Las concentraciones de tensiones ocurren en la zona donde la barra de pivote se aloja en los agujeros ciegos. Esta barra se coloca en el armado del conjunto antes de completar las soldaduras, luego el ancla no es desarmable. Dada la ductilidad del material del cuerpo, en pequeñas zonas pueden ocurrir deformaciones plásticas, resolviendo así las concentraciones de tensiones. En algunos casos los picos muy altos de tensiones calculadas pueden deberse a defectos de la malla de elementos finitos. En [9] Sección 4.4 se explica la aplicación del criterio de Von Mises a metales dúctiles.

Calculando aparte los esfuerzos en la caña, considerándola como una viga vinculada de forma isostática en los contactos con la barra de pivote (vínculo de segunda especie) y en el apoyo al hacer tope con el cuerpo (vínculo de primera especie), resultan tensiones máximas de aprox. 155 [MPa], sumando efectos causados por flexión y tracción.

La tensión media de corte en las secciones de la barra de pivote (de diámetro 92 mm) resulta de 61 [MPa].

Dos anclas de 800 kg con este diseño se habían utilizado durante años en solamente uno de los barcos, dado su buen resultado se trazaron planos para construir varios tamaños de anclas, de mayor y de menor masa, aplicando el método de escalamiento descripto antes, pero adaptando las dimensiones según los espesores estándar de chapas a ser utilizadas.

## Agradecimientos

El autor de este trabajo desea agradecer a la Secretaría de Ciencia y Tecnología, al CIDIV y al Departamento de Ingeniería Mecánica de UTN FRGP por el apoyo brindado para llevarlo a cabo.

## Referencias

- [1] Mandelli Antonio, “Elementos de Arquitectura Naval”, Tercera edición, Librería y Editorial Alsina, Argentina, ISBN 950-553-026-9, (1986).
- [2] Prefectura Naval Argentina, Ordenanza Marítima N° 7/94 “Equipo de Fondeo, Amarre y Remolque, en Buques y Artefactos Navales de la Matrícula Nacional”, Argentina, (1994).
- [3] American Bureau of Shipping, “Rules for Building and Classing Steel Vessels”, USA, (1982).
- [4] Huston John, “Hydraulic Dredging Principles-Equipment-Procedures-Methods”, First Edition, Terra Marine, USA, ISBN 0-9616260-0-3, (1986).
- [5] Huston John, “Hydraulic Dredging Theoretical and Applied”, First Edition, Cornell Maritime Press Inc., USA, ISBN 0-87033-142-6, (1970).
- [6] Turner Thomas M., “Fundamentals of Hydraulic Dredging”, Second Edition, ASCE Press (American Society of Civil Engineers), USA, ISBN 0-7844-0147-0, (1996).
- [7] Boyer Howard E., “Atlas of Stress-Strain Curves”, Second printing, ASM International, USA, ISBN 0-87170-240-1, (1990).
- [8] Flinn Richard A. y Trojan Paul K., “Materiales de Ingeniería y sus aplicaciones”, Tercera edición, McGraw-Hill, México, ISBN 968-422-710-8, (1991).
- [9] Boresi Arthur P., Schmidt Richard J. and Sidebottom Omar M., “Advanced Mechanics of Materials”, Fifth Edition, John Wiley & Sons, USA, ISBN 0-471-60009-1, (1993).
- [10] < <https://www.rtrillo.com/pdf/Trillo-Catalogo-Anclas-Cadenas-2018.pdf> >



# Mejoras en el diseño de bombas centrífugas de refoulado de barcos areneros

*Horacio M. Mirassou*

UTN FRGP, Hipólito Yrigoyen 288, General Pacheco B1617, Argentina  
 dirección de correo electrónico: hmirassou@yahoo.com

## ABSTRACT

*The sand used in the Greater Buenos Aires is extracted from the bottom of the Paraná River, and is transported in bulk to land by sand ships in the "pool" of each ship, which is a large open-air cargo hold. The sand is aspirated with centrifugal pumps of special characteristics called "dredge pumps", located in the engine room of each ship, using suction pipes submerged in the water, in depths from a few meters up to 40 m, depending on the area. The mixture of water and sand aspirated by the pumps is discharged into the pool of the ship, the sand is decanted and the water returns to the river, then the sand is transported to land facilities for later commercialization. In the discharge operation of the pool, one of the dredge pumps is used to suck the mixture of water and sand, and send it to land through the discharge pipe, while using another pump, called "water pump", to supply water to the pool, necessary to form the mixture of water and sand, since it is not possible to only suck sand. The power required by a dredge pump can vary between approximately 150 and 600 HP, and the rotation speed of its axis can vary between approx. 750 and 450 r.p.m., according to each pump. In general these pumps are driven by diesel engines of different characteristics, according to each ship. This paper describes the main features that distinguish the dredge pumps from the pumps suitable for pumping liquids without transporting solids, and shows some designs of pumps that have given the best results, considering the information collected during the last four decades.*

*Keywords: Centrifugal pump, Hopper dredge, Design, Sand.*

## RESUMEN

*La arena utilizada en el Gran Buenos Aires se extrae del fondo del Río Paraná, y se transporta a granel a tierra mediante barcos areneros en la "pileta" de cada barco, la cual es una bodega a cielo descubierta de grandes dimensiones. La arena se aspira con bombas centrífugas de características especiales denominadas "bombas de refoulado", ubicadas en la sala de máquinas de cada barco, utilizando tuberías de aspiración sumergidas en el agua, en profundidades desde algunos metros hasta 40 m, según la zona. La mezcla de agua y arena aspirada por las bombas se descarga en la pileta del barco, la arena se decanta y el agua retorna al río, luego la arena se transporta a las instalaciones terrestres para su posterior comercialización. En la operación de descarga de la pileta se utiliza una de las bombas de refoulado para aspirar la mezcla de agua y arena, y enviarla a tierra mediante la tubería de descarga, mientras se utiliza otra bomba, denominada "bomba de barrido", para suministrar agua a la pileta, necesaria para formar la mezcla de agua y arena, dado que no es posible aspirar solamente arena. La potencia que demanda una bomba de refoulado puede variar entre aproximadamente 150 y 600 CV, y la velocidad de rotación de su eje puede variar entre aprox. 750 y 450 r.p.m., según cada bomba. En general estas bombas son accionadas por motores diésel de diversas características, según cada barco. En este trabajo se describen las principales características que distinguen a las bombas de refoulado de las bombas adecuadas para bombear líquidos sin transporte de sólidos, y se muestran algunos diseños de bombas que han dado los mejores resultados, considerando la información recopilada durante las últimas cuatro décadas.*

*Palabras Clave: Bomba centrífuga, Barco arenero, Diseño, Arena.*

## 1. Introducción

La arena utilizada en el Gran Buenos Aires se extrae del fondo del Río Paraná, y se transporta a granel a tierra mediante barcos areneros en la "pileta" de cada barco, la cual es una bodega a cielo descubierta de grandes dimensiones.

La arena se aspira con bombas centrífugas de características especiales denominadas "bombas de refoulado", ubicadas en la sala de máquinas de cada barco, utilizando tuberías de aspiración sumergidas en el agua, en profundidades desde algunos metros hasta aproximadamente 40 m, según la zona asignada para efectuar la carga.



Cada barco arenero zarpa diariamente del muelle de su empresa con la pileta vacía, navega hasta el lugar asignado, fondea con las dos anclas de proa y se ubica río abajo a una distancia adecuada, se bajan los caños de aspiración hasta que sus extremos inferiores se ubican sobre el fondo del río, luego se aspira una mezcla de arena y agua mediante las bombas de refoulado y se descarga en la pileta, donde se decanta la arena y el agua retorna al río. Cuando la pileta está llena se inicia el viaje de retorno a las instalaciones terrestres, en donde luego se descarga la arena.

En la operación de descarga de la pileta se utiliza una de las bombas de refoulado para aspirar la mezcla de agua y arena, y enviarla a tierra mediante la tubería de descarga, mientras se utiliza otra bomba, denominada “bomba de barrido”, para suministrar agua a la pileta, necesaria para formar la mezcla de agua y arena, dado que no es posible aspirar solamente arena. La potencia que demanda una bomba de refoulado puede variar entre aprox. 150 y 600 CV, y la velocidad de rotación de su eje puede variar entre aprox. 750 y 450 r.p.m., según cada bomba. En general estas bombas se accionan con motores diésel de diversas características, según cada barco. En la mayoría de las transmisiones de potencia entre motores y bombas se utilizan correas o cajas de engranajes, reductoras o multiplicadoras de velocidad, esto último se utiliza cuando los motores funcionan con bajas velocidades de rotación.

En este trabajo se describen las principales características que distinguen a las bombas de refoulado de las bombas adecuadas para bombear líquidos sin transporte de sólidos, y se muestran algunos diseños de bombas que han dado los mejores resultados, considerando la información recopilada durante las últimas cuatro décadas.

## 2. Características de diferentes diseños de bombas de refoulado

Existen barcos areneros de distintos tamaños, características y antigüedad, en los que se utilizan y se han utilizado bombas de diversos diseños y orígenes, cuyos tamaños deben ser adecuados a las características del barco y de la tubería de descarga a las instalaciones terrestres, las que generalmente tienen silos o piletas preparadas para el acopio de arena.

La Fig. 1 muestra la vista lateral de un barco arenero modernizado que comenzó a trabajar en diciembre de 2013, sus características principales son: eslora 90 m, manga 15 m, calado 3,162 m, volumen de pileta 1500 m<sup>3</sup>, desplazamiento máximo 3800 m<sup>3</sup> aprox., dos motores diésel propulsores de potencia 950 CV a 365 r.p.m. cada uno, que impulsan dos hélices que demandan aprox. 720 CV a 360 r.p.m. cada una, a una velocidad de navegación de 10 nudos (18,52 km/h).

La Fig. 2 es un esquema de vista en corte longitudinal del barco mostrado en la Fig. 1. Se puede ver la ubicación de la pileta y la sala de máquinas, en donde están los motores propulsores y las bombas de refoulado instaladas entre los motores y la pileta. En la Fig. 3 se muestra ampliado el detalle de ese sector señalado en la Fig. 2. Este barco fue construido en 1960 en el astillero Astarsa para la empresa YPF, para transporte fluvial de hidrocarburos, luego fue adquirido por una empresa privada en 1993, posteriormente fue transformado en arenero entre 2007 y 2013.

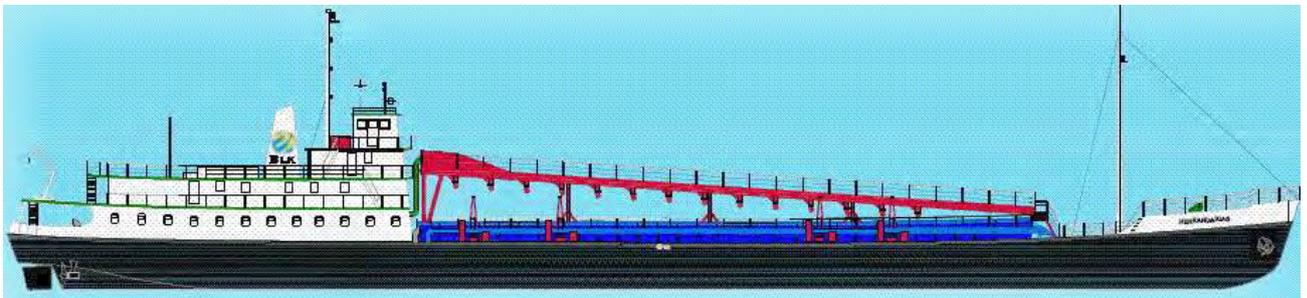


Figura 1 – Vista lateral de un barco arenero cuya eslora es 90m.

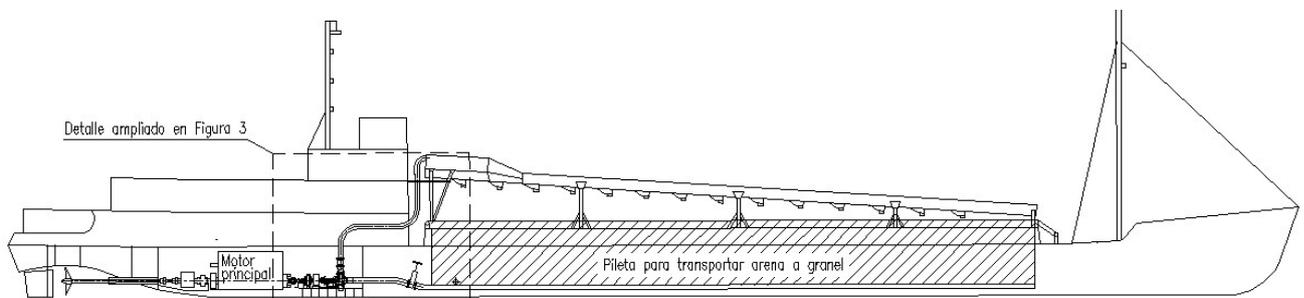
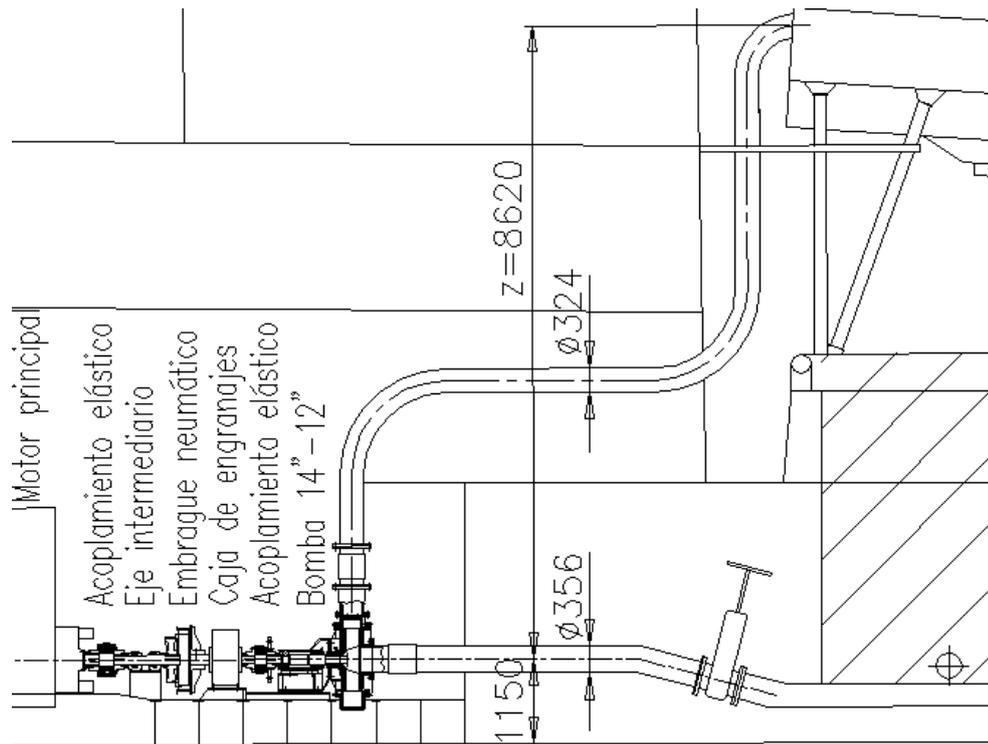


Figura 2 – Esquema de corte longitudinal del barco mostrado en la Fig. 1.

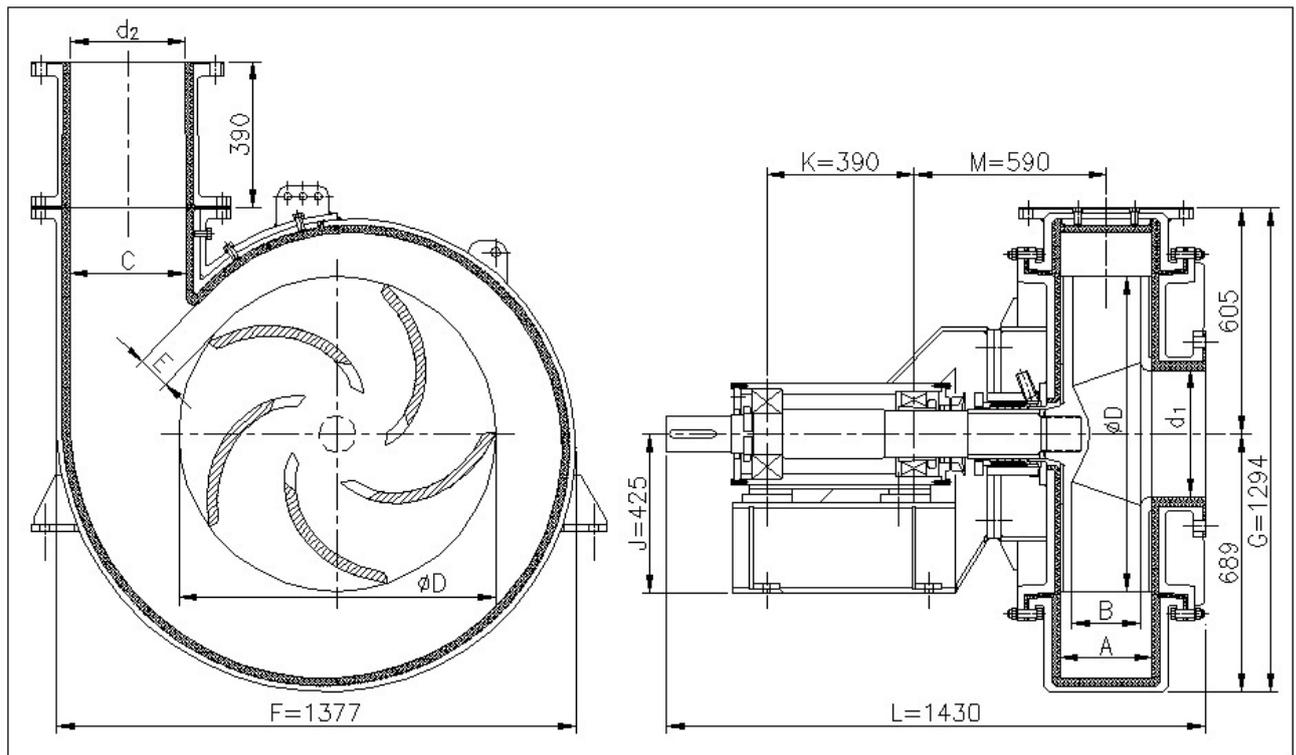


**Figura 3 – Detalle ampliado señalado en la Fig. 2: sector proa de la sala de máquinas.**

En la Fig. 3 se muestra la ubicación de una bomba de refoulado con tubería de aspiración de diámetro nominal 14" (355,6mm) y tubería de descarga de diámetro nominal 12" (304,8mm), el caño standard tiene un diámetro exterior de 12,75" (323,85mm) y un diámetro interior de 12" cuando el espesor es 0,375" (9,525mm). El caño de diámetro nominal 14" tiene un diámetro interior de 13,25" (336,55mm) cuando el espesor es 0,375". Para el diseño de esta bomba se redondearon los diámetros de aspiración y descarga en 337 y 305 mm. Se fabricaron e instalaron dos bombas gemelas accionadas por la toma de potencia por proa de los motores propulsores, dado que cuando se accionan estas bombas las hélices no giran, para esto se desacoplan los ejes porta hélice y se conectan las tomas de potencia por proa mediante los embragues neumáticos, permitiendo el giro de las cajas de engranajes multiplicadoras de velocidad con relación 1,55, de modo que con una velocidad de 355 r.p.m. en los motores se obtienen 550 r.p.m. en las bombas. En la Fig. 4 se muestran fotos de estas bombas, las cajas de engranajes y los acoplamientos elásticos rodeados con mallas de protección.

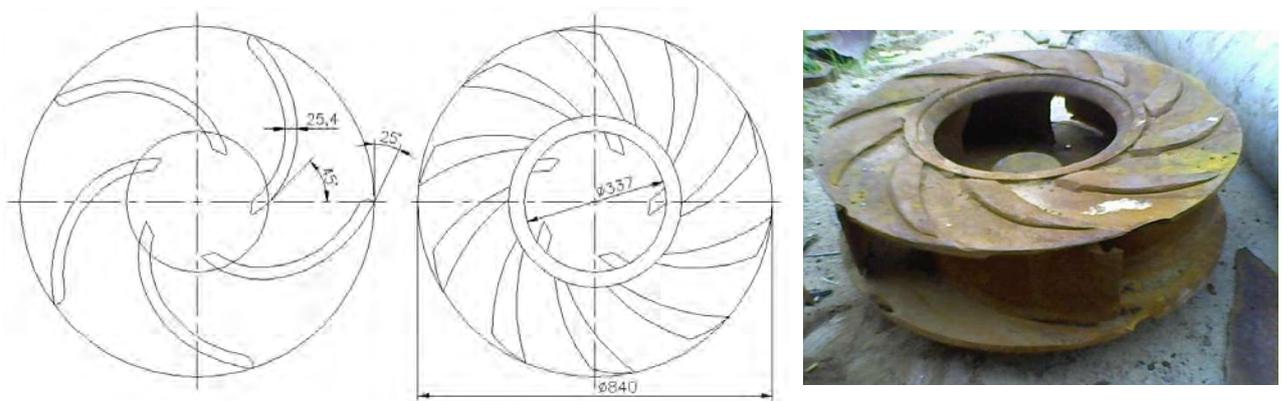


**Figura 4 – (a) Bombas 14"-12" vistas desde babor y popa; (b) Bombas 14"-12" vistas desde estribor y popa.**



**Figura 5 – Bomba centrífuga de refoulado 14”-12” con revestimiento interior de goma.**

En la Fig. 5 se muestra en la izquierda una vista en corte transversal de la voluta y rotor de la bomba presentada en las Fig. 3 y 4, y en la derecha una vista en corte longitudinal de esta bomba. Las dimensiones indicadas con letras valen:  $d_1=337$ ,  $d_2=305$ ,  $A=245$ ,  $B=180$ ,  $C=309$ ,  $D=840$ ,  $E=87$ . En la Fig. 6(a) se dan más dimensiones del rotor.  $D$  y  $B$  son el diámetro exterior y el ancho útil del rotor, que es la distancia entre dos discos planos y paralelos. Esta característica: álabes de ancho constante unidos a dos discos planos y paralelos, es común en las bombas de refoulado utilizadas en barcos areneros y en dragas, donde se evitan los rotores de forma “cónica” (de mejor desempeño hidráulico) utilizados para líquidos puros. El rotor de forma “cilíndrica” de las bombas de refoulado tiene menor rendimiento hidráulico, pero su diseño reduce el riesgo de que ocurran obstrucciones al aspirar accidentalmente objetos sólidos de dimensiones grandes no deseados, esto sucede con mayor frecuencia en las dragas con cortador que trabajan en zonas con escombros y desechos en el fondo. Por esto los rotores de bombas de dragas para evitar obstrucciones suelen tener 4 o 3 álabes, cuando la cantidad óptima para un mejor rendimiento hidráulico suele ser mayor. Para las bombas areneras se considera que los rotores de 5 álabes son una buena opción, según los resultados obtenidos durante décadas de trabajo.



**Figura 6 – (a) Perfil de álabes del rotor y vista frontal; (b) Fotografía de rotor usado y desgastado.**



**Figura 7 – (a) Rotor de bomba 12”-12” desgastado luego de 2 años de uso; (b) Otra vista del mismo rotor.**

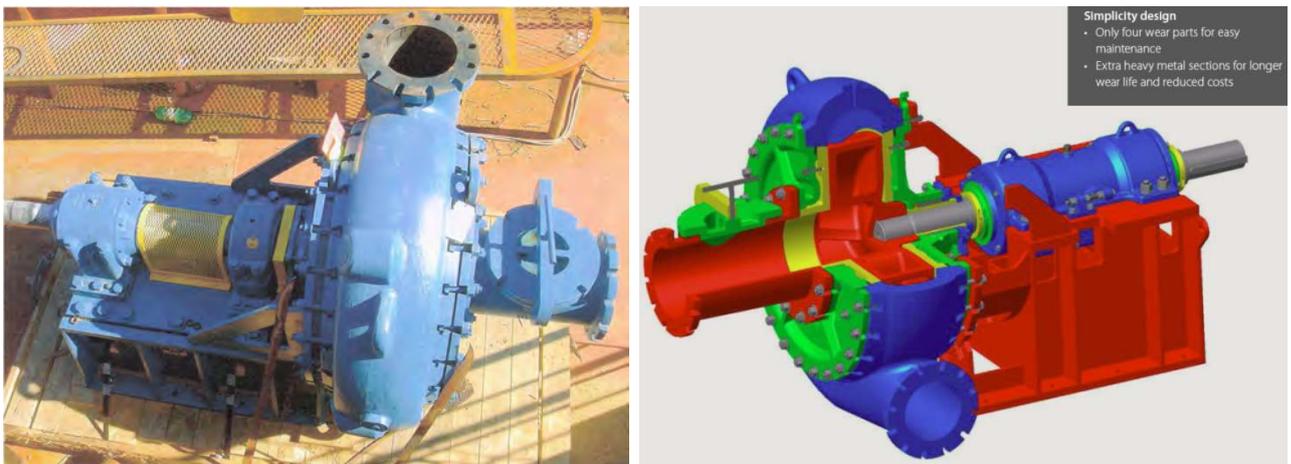
La Fig. 6(b) es una fotografía de un rotor (diámetro 720mm) usado y desgastado de otra bomba 12”-12” semejante, también construida con placas de acero unidas con soldadura, e interior recubierto con goma (espesores entre 20 y 25mm). Los granos de arena impactan contra la goma y rebotan, por esto el recubrimiento de goma tiene una duración de varios meses que resulta aceptable económicamente, dado que las volutas y tapas de acero no se dañan y se pueden volver a engomar, con un proceso de vulcanizado. La velocidad tangencial en la periferia de un rotor como éste con velocidad de giro de 600 r.p.m. es 81,4 km/h (22,6 m/s). En la bomba 14”-12” con rotor de diámetro 840mm y 550 r.p.m. la velocidad tangencial en la periferia es 87,1 km/h (24,2 m/s), y con 570 r.p.m. la velocidad es 90,2 km/h.

Las Fig. 7(a) y 7(b) son fotografías de otro rotor de la bomba 12”-12” gemela, que presenta un gran desgaste luego de aprox. 2 años de uso. No se han recubierto con goma estos rotores para no empeorar su rendimiento hidráulico, se ha decidido reemplazarlos cuando sea necesario. Son fabricados con placas de acero SAE 4140 unidas por soldadura y mecanizados con el material en estado normal, luego templados y revenidos para alcanzar dureza entre 300 y 350 HB.

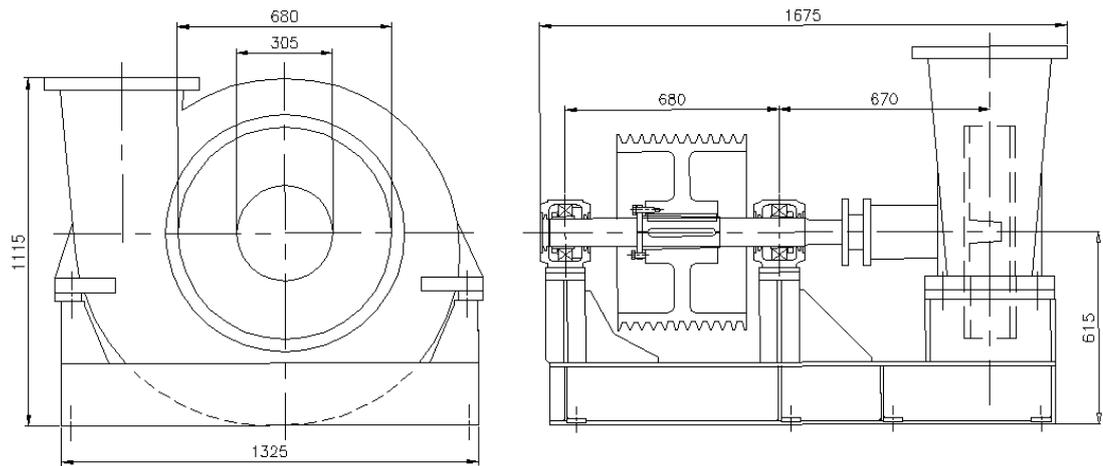
Rotores semejantes construidos con placas de acero SAE 1010 unidas por soldadura y mecanizados, sin realizar tratamiento térmico, pueden tener una vida útil de aprox. un año. Esto en parte depende del tipo de arena refoulada.

En algunos casos puede ser conveniente económicamente el rotor de acero SAE 1010 por su menor costo de fabricación, aunque su vida útil sea menor. La experiencia ha demostrado que el perfil de los álabes es una variable importante que influye en la vida útil lograda, tema que luego se amplía en este texto.

Otros empresarios areneros han elegido instalar bombas importadas como las mostradas en la Fig. 8, construidas con aleaciones ferrosas fundidas muy duras (entre 500 y 600 HB), los rotores alcanzan vidas útiles de aprox. 7 años, y las volutas aprox. 14 años, luego de estos períodos de tiempo deben ser reemplazados. Pero la inversión inicial es aprox. tres veces mayor a la necesaria para las bombas nacionales engomadas, y luego es alto el costo de la voluta de repuesto.



**Figura 8 – (a) Bomba importada con voluta fundida muy dura; (b) Dibujo de catálogo de una bomba semejante.**



**Figura 9 – Bomba 12”-12” con voluta fundida de fabricación nacional, vistas frontal y lateral con corte parcial.**

En la Fig. 9 se muestra un diseño de bomba 12”-12” de refoulado de fabricación nacional con voluta fundida (y opcionalmente rotor fundido o fabricado con placas de acero soldadas), con dureza inferior a las bombas importadas mostradas en la Fig. 8. El rotor tiene un diámetro exterior de 680mm y un ancho útil de 125mm. En la Fig. 9 la voluta está sujeta con tornillos a una base construida con perfiles U de acero unidos con soldadura. Esta base soporta dos cajas de rodamientos que sostienen al eje con una polea para una transmisión de potencia con correas tipo V.

También se ha fabricado esta bomba con otras configuraciones, una que fue muy utilizada es: la misma voluta, rotor y caja de prensaestopas, y con el eje soportado por rodamientos alojados en un tubo (o “bocina”) vinculado a la tapa trasera mediante tres brazos atornillados a esa tapa, con los rodamientos separados entre sí por una distancia bastante menor a la de la Fig. 9. Bombas de este tipo se han fabricado desde los años sesenta del siglo XX, y actualmente se continúan utilizando en algunos barcos.

### 3. Consideraciones para mejorar el diseño de las bombas de refoulado

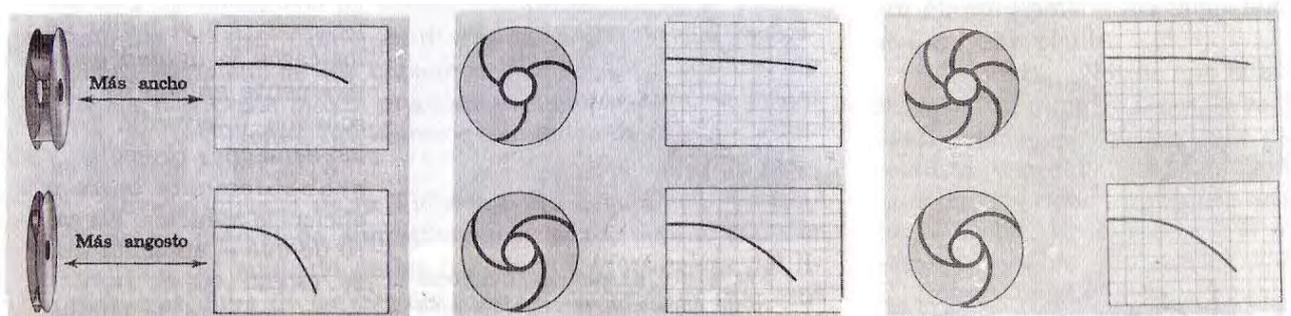
Del mismo modo que en otras actividades industriales, uno de los resultados deseados es mejorar la relación entre beneficios obtenidos y costos. Entonces se busca: reducir la inversión inicial, reducir el consumo de combustible y el tiempo necesarios por cada m<sup>3</sup> de arena extraído, aumentar la vida útil de los componentes de toda la instalación, reducir el tiempo de reparaciones y reemplazo de componentes, facilitar el recambio de componentes gastados o rotos.

Para estudiar e investigar el funcionamiento de las bombas centrífugas se deben considerar los aspectos hidráulicos y de mecánica de fluidos por un lado, y por otro los relacionados con elementos de máquinas, resistencia de materiales, métodos de fabricación, y aspectos relacionados con la funcionalidad y ergonomía en el montaje y desmontaje, etc.

En [1,2] se explican conceptos hidráulicos y de mecánica de fluidos aplicables a bombas centrífugas en general, también en [3], de donde se tomaron los esquemas mostrados en la Fig. 10.

En [4-7] se expone información más especializada sobre el tema bombas de dragas, se puede consultar considerando que un barco arenero es un caso especial de draga de succión y cántara (suction hopper dredge).

De [8-11] se pueden extraer los conceptos y ecuaciones de elementos de máquinas y resistencia de materiales.



**Figura 10 – (a) Efecto del ancho; (b) Efecto de inclinación de álabes; (c) Efecto de cantidad de álabes.**



Seis ecuaciones que relacionan las principales variables de performance de las bombas de refoulado:

$$H = \frac{v^2 \cdot c_p}{2 \cdot g} \quad (1)$$

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} \quad (2)$$

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot B}{4} \quad (3)$$

$$Q_1 = n \cdot 60 \cdot V_1 \quad (4)$$

$$c_v = \frac{Q}{Q_1} \quad (5)$$

$$P = \frac{H \cdot Q}{270 \cdot \eta} \quad (6)$$

En donde:

$H$  = diferencia de presiones entre aspiración y descarga de la bomba expresada en [m] de columna de agua

$v$  = velocidad tangencial en la periferia del rotor expresada en [m/s]

$c_p$  = coeficiente de presión adimensional empírico (en muchas bombas aprox. es:  $1,32 > c_p > 0,85$ )

$g$  =  $9,806$  [m/s<sup>2</sup>]

$D$  = diámetro exterior del rotor expresado en [m]

$n$  = velocidad de giro del eje de la bomba expresada en [r.p.m.]

$V_1$  = volumen del espacio cilíndrico del interior del rotor expresado en [m<sup>3</sup>]

$B$  = ancho útil del rotor expresado en [m]

$Q_1$  = caudal teórico de referencia expresado en [m<sup>3</sup>/h]

$Q$  = caudal real de agua (o de mezcla de agua y arena) expresado en [m<sup>3</sup>/h]

$c_v$  = coeficiente de caudal adimensional empírico ( $0 < c_v < 1$ )

$P$  = potencia requerida en el eje de la bomba expresada en [CV]

$\eta$  = coeficiente adimensional empírico de rendimiento total de la bomba ( $0 < \eta < 1$ )

El valor definitivo del coeficiente  $c_p$  depende de las características de la bomba y de las tuberías de aspiración y descarga, y de la velocidad de giro  $n$  del eje de la bomba. Lo mismo ocurre con  $c_v$ , también con  $\eta$ .

En muchos casos se dan estos valores:  $c_v = 0,5$  a  $0,67$  aprox.,  $\eta = 0,5$  a  $0,65$

Los valores altos de  $c_p$  ocurren con tuberías que causan pérdidas de carga altas (gran longitud y/o gran altura geométrica  $z$ , como en la descarga de la pileta a tierra), los valores menores ocurren con tuberías que causan pérdidas de carga menores (poca longitud y/o poca altura geométrica  $z$ , como en la carga de la pileta en el río).

Por ejemplo, para la bomba mostrada en las Fig. 4 y 5, se obtuvo con  $n = 550$  r.p.m.:

$Q = 2000$  a  $2200$  [m<sup>3</sup>/h],  $H = 32$  [m],  $P = 380$  [CV]

Para una bomba como la mostrada en la Fig. 9 puede obtenerse con  $n = 600$  r.p.m.:

$Q = 900$  a  $1000$  [m<sup>3</sup>/h],  $H = 25$  [m],  $P = 180$  [CV]

Se puede ver que con la bomba de la Fig. 4 y 5 se obtiene más del doble del caudal que entrega la bomba de la Fig. 9, aunque la tubería de descarga es del mismo diámetro: 12".

La cantidad de arena refozada en la descarga a tierra generalmente es entre 20% y 25% del caudal de la mezcla  $Q$ .



La cantidad de arena refozada en la carga en el río puede variar mucho según la profundidad, para pocos metros puede ser 15% de  $Q$ , con 40m de profundidad se obtuvo 7% de  $Q$  con las bombas mostradas en las Fig. 4 y 5. Con las bombas importadas no se han obtenido mejores resultados.

A mayor profundidad del río se reduce el porcentaje de arena que puede ser refozada, porque los granos sólidos son empujados por el caudal de agua, que les transfiere una parte de su energía cinética para aumentar la energía potencial de cada grano sólido, a mayor profundidad del río es mayor la energía potencial asignada a cada grano.

En la Fig. 10 se puede ver como el ancho útil  $B$ , la cantidad de álabes y su forma influyen en la forma de la curva de  $H$  en función de  $Q$ . Esta curva para cada bomba se obtiene de un ensayo de laboratorio, en función de  $n$  en [r.p.m.]. Pero este ensayo es de alto costo para bombas de gran caudal como las de refozado, en el diseño de las bombas de las Fig. 4 y 5 se ha estimado la curva  $H$  en función de  $Q$  teniendo en cuenta los antecedentes y los cálculos explicados.

En el diseño de los rotores mostrados en la Fig. 6 se trazaron los perfiles de álabes con espirales logarítmicas calculadas con el método dado en [7].

Estos rotores han logrado alcanzar una vida útil del doble o más que otros rotores con álabes de perfil trazado con un arco de círculo, realizando la comparación con iguales materiales: placas de acero SAE 1010 unidas por soldadura.

#### 4. Conclusiones

Se ha demostrado que es factible y económicamente conveniente la fabricación nacional con industrias Pymes de bombas centrífugas de refozado como las mostradas en las Fig. 4 y 5.

#### Agradecimientos

El autor de este trabajo desea agradecer a la Secretaría de Ciencia y Tecnología, al CIDIV y al Departamento de Ingeniería Mecánica de UTN FRGP por el apoyo brindado para llevarlo a cabo.

#### Referencias

- [1] Lobanoff Val S. and Ross Robert R., “Centrifugal Pumps Design & Application”, First Edition, Gulf Publishing Company, USA, ISBN 0-87201-190-9, (1985).
- [2] Karassik Igor J., Krutzsch William C., Fraser Warren H. and Messina Joseph P., “Pump Handbook”, First Edition, McGraw-Hill, USA, ISBN 0-07-033301-7, (1976).
- [3] Hicks Tyler G., “Bombas su selección y aplicación”, Decimoquinta impresión, C.E.C.S.A., México, sin ISBN, (1980).
- [4] Huston John, “Hydraulic Dredging Principles-Equipment-Procedures-Methods”, First Edition, Terra Marine, USA, ISBN 0-9616260-0-3, (1986).
- [5] Huston John, “Hydraulic Dredging Theoretical and Applied”, First Edition, Cornell Maritime Press Inc., USA, ISBN 0-87033-142-6, (1970).
- [6] Turner Thomas M., “Fundamentals of Hydraulic Dredging”, Second Edition, ASCE Press (American Society of Civil Engineers), USA, ISBN 0-7844-0147-0, (1996).
- [7] Herbich John B., “Coastal and deep ocean dredging”, Gulf Publishing Co., USA, (1975).
- [8] Tedeschi Pablo, “Proyecto de Máquinas”, Segunda Edición, EUDEBA, Argentina, sin ISBN, (1979).
- [9] Amé Ricardo M., “Mecánica aplicada al diseño de los elementos de máquinas”, Primera Edición, Nobuko, Argentina, ISBN 978-987-584-371-4, (2012).
- [10] Norton Robert L., “Diseño de máquinas”, Primera Edición, Prentice Hall, México, ISBN 970-17-0257-3, (1999).
- [11] Young Warren C., “Roark’s Formulas for Stress and Strain”, Sixth Edition, McGraw-Hill, USA, ISBN 0-07-072541-1, (1989).
- [12] < <https://www.metso.com/products/slurry-pumps/horizontal/thomas-simplicity-series/> >
- [13] < <http://valveproducts.metso.com/documents/pumps/datasheets/en/PTD03-02EN.pdf> >
- [14] < <http://valveproducts.metso.com/documents/pumps/Brochures/en/PCB03-01en.pdf> >



# Aviación



## Cálculo de capacidad de pista, Método analítico.

*Alejandro M. Miguel<sup>a\*</sup>, Eduardo Carceglia<sup>a</sup>, Carlos Varrenti<sup>a</sup>.*

*<sup>a</sup> Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo, Haedo (1706), Buenos Aires, Argentina.*

*\*Alejandro M. Miguel, alemiguel93@gmail.com.*

### ABSTRACT

*Since the beginning of 1980 and due to the growth of the aeronautical activity, the capacity evaluation of the airport and in particular, the "Runway Capacity" has become an essential analysis for the development of any Airport with a high rate of operations. The following work aims to introduce the calculation of the Runway capacity through the "Analytical method", this Report presents its scope, applications and verify the model calculations with results presented by the FAA of the George Bush Intercontinental Airport (IAH).*

*Keywords: Capacity, Airports, Airside, Analytical Model.*

### RESUMEN

*Desde los inicios de 1980 y debido al gran crecimiento de la actividad aeronáutica, evaluar la capacidad del aeropuerto y en especial, la "Capacidad de pista" se ha convertido en un análisis esencial para el desarrollo de cualquier Aeródromo/Aeropuerto con una alta tasa de operaciones. El siguiente trabajo tiene como objetivo introducir el cálculo de capacidad de pista mediante el "Método analítico", presentar sus alcances, aplicaciones y verificar el modelo de cálculo con los resultados presentados por la FAA del Aeropuerto intercontinental George Bush (IAH).*

*Palabras Clave: Capacidad, Aeropuertos, Lado Aire, Método Analítico.*

### 1. Introducción

Desde los inicios de 1980 y debido al gran crecimiento de la actividad aeronáutica, aeropuertos de Estados Unidos y Europa comenzaron a afrontar dificultades para manejar los altos niveles de demanda incurriendo en problemas de tráfico aéreo, espacio físico y demoras considerables. A través de los tiempos, diversos métodos y modelos se han desarrollado para estimar la capacidad del espacio aéreo y terrestre de los aeropuertos.

Uno de los análisis de mayor importancia al diseñar un aeródromo es el análisis de la capacidad de pista, el cual tiene como fin estimar la cantidad de operaciones (*Despegues y aterrizajes*) que pueden ser realizadas en un sistema de pistas bajo un marco determinado de operación. Los requerimientos de OACI y la necesidad de cumplir con un coeficiente de utilización no menor al 95% para un sistema de pistas, exigen que la capacidad y el diseño se adecúen a la demanda existente. La capacidad de pista provee de información esencial no solo al aeropuerto sino también a operadores aéreos, pudiendo estimar las demoras que puedan llegar a ocasionarse debido a los altos niveles de demanda.

Entre los métodos y modelos generalmente utilizados para estimar las operaciones de pista, se encuentra el "Método Analítico". Este es un modelo discreto basado en el concepto Espacio-Tiempo y la ponderación de sucesos, que tiene como objetivo estimar de manera gráfica la *Capacidad Última o de Saturación*, a la cual está sometido un sistema de pistas, bajo un marco determinado de operaciones y demanda. Este trabajo tiene como objetivo introducir el "Método analítico", sus alcances, aplicaciones y verificar el modelo de cálculo con los resultados presentados por la FAA del Aeropuerto intercontinental George Bush (IAH).



## 2. Método analítico

Es importante antes de continuar, definir dos conceptos que serán de utilidad para entender el método:

- *Capacidad práctica*: tasa de operaciones que un aeropuerto puede aceptar considerando una demora tolerable.
- *Capacidad última o de Saturación*: tasa máxima de operaciones que un aeropuerto puede gestionar bajo condiciones de demanda continua, sin considerar la demora ocasionada.

El método presentado tiene como objetivo obtener los puntos necesarios para trazar el diagrama de Pareto, o también conocido como envolvente de capacidad, y establecer el estado de saturación del aeropuerto analizado, considerando un determinado marco de operaciones. Comúnmente es posible encontrar envolventes de capacidad como los de la Fig. 1. Como se puede apreciar, los límites de la envolvente representan la capacidad *Última o de Saturación* a la cual está expuesto nuestro aeródromo. Este modelo indica de manera gráfica los límites a partir de los cuales, las operaciones de un aeropuerto incurren en una alta tasa de demoras considerables debido a la saturación del espacio aéreo.

En su forma más general pueden apreciarse cuatro puntos esenciales, aunque es posible encontrar graficas con puntos auxiliares, los cuales manifiestan un modo de operación particular que se requiere analizar. Si se cuenta con información diaria de las operaciones, es posible volcar dicha información en la envolvente estimada, como se muestra en la Fig. 2, y de esta manera establecer el estado de saturación de un aeródromo en funcionamiento. Este análisis gráfico permite de manera rápida y sin incurrir en importantes errores, monitorear la saturación del aeropuerto durante la fase de operación. El método analítico y sus gráficas, han sido una herramienta de divulgación de gran interés y útil para diversos operadores aéreos, se ha transformado en una herramienta sencilla de evaluación de la saturación del espacio aéreo, pudiendo obtenerse un primer análisis de las demoras que podrían incurrir en las operaciones.

El método analítico limita su análisis al sistema de pista, su senda de aproximación y calles de salida. Este modelo se caracteriza por:

- Analizar el estado de saturación considerando una demanda continua e ininterrumpida de operaciones.
- Ser sencillo, rápido de ejecutar y ECÓNOMICO.
- Suficiente para la planificación preliminar de un aeropuerto / espacio aéreo y seguimiento.
- Presentar resultados gráficos y analíticos para su análisis.
- Presentar estimaciones con un error de alrededor del 10% en relación a los modelos continuos, pero son apropiados para el análisis.
- Posibilidad de adaptar el cálculo de capacidad a un Mix particular de aeronaves al cual que se escoja el aeropuerto.
- Ser el modelo primario de estimación como antesala a los modelos continuos (Simulaciones).

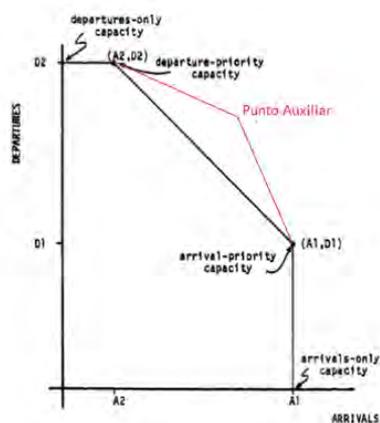


Figura 1 - Modelo de envolvente de capacidad.

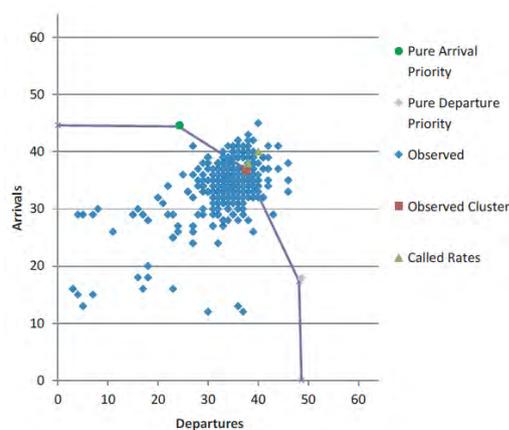


Figura 2 - Análisis gráfico de saturación.



**2.1. Diagramas Espacio-Tiempo**

El modelo se basa esencialmente en la información obtenida a partir de diagramas de Espacio-Tiempo. Un caso particular de análisis, es el de una pista destinada exclusivamente a arribos [1], la cual se encuentra bajo una demanda continua e ininterrumpida de operaciones en donde se pueden apreciar dos situaciones como los de la Fig. 3 y 4.

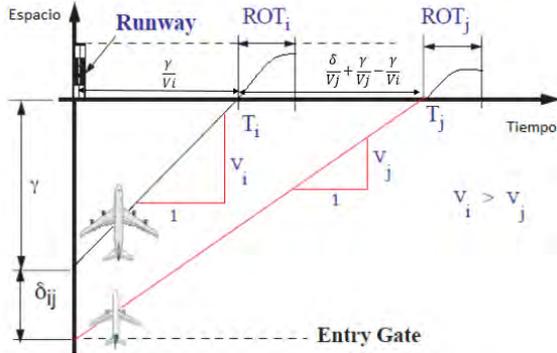


Figura 3 - Aproximación con  $V_i > V_j$ .

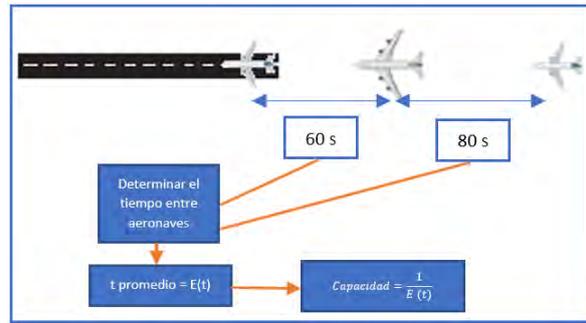


Figura 4 - Intervalo entre arribos  $V_i \leq V_j$ .

Consideramos las figuras anteriores, podemos establecer un tiempo entre arribos ( $T_{ij}$ ) que estará definido por (1) y (2).

$$T_{ij} = \frac{\delta_{ij}}{V_j} + \gamma \left( \frac{1}{V_j} - \frac{1}{V_i} \right) + tb \quad (1)$$

$$T_{ij} = \frac{\delta_{ij}}{V_j} + tb \quad (2)$$

Donde  $V$  es la velocidad de aproximación y se aplica (1) si  $V_i > V_j$  o se hace uso de (2) si  $V_i \leq V_j$ ;  $i, j$  es el índice de la categoría de la aeronave primaria ( $i$ ) y la categoría secundaria ( $j$ ) en una aproximación considerando una secuencia ( $ij$ );  $\delta_{ij}$  es la separación entre aeronaves  $ij$ ;  $T_{ij}$  es el tiempo entre arribos de una aeronave ( $i$ ) seguida de una aeronave ( $j$ ). “ $tb$ ” es un tiempo adicional de separación agregado por el controlado en donde se aplica (3) si  $V_i \leq V_j$  o se hace uso de (4) si  $V_i > V_j$ .

$$tb = \sigma * q(pv) \quad (3)$$

$$tb = \sigma * q(pv) + \delta_{ij} \left( \frac{1}{V_j} - \frac{1}{V_i} \right) \quad (4)$$

El tiempo adicional considera errores normalmente distribuidos de la posición de la aeronave durante la fase de aproximación, los cuales tienen inherencia en los tiempos entre arribos. En (3) y (4) el valor  $\sigma$  representa la desviación estándar del error de posición de la aeronave.  $pv$  representa la probabilidad de violación de las reglas mínimas aceptables de separaciones, mientras que  $q(pv)$  es el valor para el cual la distribución normal acumulativa toma el valor  $(1 - pv)$ .

Si ponderamos el tiempo entre arribos por una probabilidad de ocurrencia  $P_{ij}$  en el mix de aterrizajes; se establece que el tiempo promedio ponderado entre arribos es:

$$E(t) = \sum_i \sum_j T_{ij} * P_{ij} \quad (5)$$

Considerando el tiempo entre arribos  $E(t)$ , es posible obtener la capacidad para una pista destinada exclusivamente a operaciones de arribos como (6), la cual estará expresada en operaciones por unidad de tiempo.

$$Ca = \frac{1}{E(t)} \quad (6)$$



De esta manera es posible obtener el punto de la envolvente correspondiente a *Arrivals-Arrivals* (Eje coordinado) y siguiendo con el mismo lineamiento, es posible obtener el punto correspondiente a *Departures- Departures* (Pista destinada exclusivamente a operaciones de Despegues). En el caso de considerar una pista con operaciones mixtas [1,2], si se analizama el caso de insertar operaciones de despegues entre arribos, se deberá considerar el tiempo necesario para estas operaciones, por lo cual deberá cumplirse (7).

$$T_{ij} > Gaps \quad (7)$$

Donde *Gaps*, es el espacio requerido para realizar “n” despegues, y este deberá ser menor al tiempo entre arribos  $T_{ij}$ . Siendo “n”, la cantidad de despegues que se deseen analizar (Fig. 5). Este mismo razonamiento se aplica en caso de analizar los espacios requeridos para realizar operaciones de arribos entre despegues.

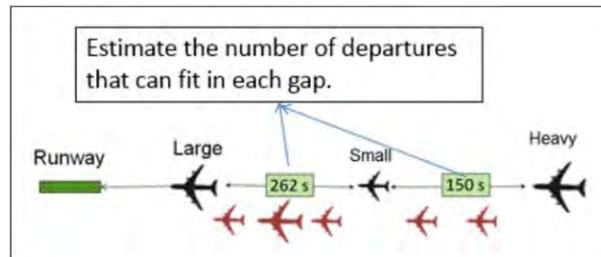


Figura 5 - Estimacion de despegues entre arribos.

## 2.2. Requerimientos del modelo

Para poder aplicar el modelo es necesario contar con la información de las referencias [2,3]:

- Mix de aeronaves (Grupos de aeronaves de características similares).
- Plano de pista.
- Velocidades de aproximación de las aeronaves ( $V$ ).
- Longitud de senda de aproximación ( $Y$ ).
- Tiempo de ocupación de pista en arribos ( $ROTi$ ).
- Tiempo de ocupación de pista en Despegues ( $DROTi$ ).
- Meteorología.
- Separaciones entre arribos ( $\delta$ ).
- Separaciones entre salidas ( $td$ ).
- Separación mínima entre despegue y aterrizaje ( $\delta_{AD}$ ).
- Radar.
- Capacidad de control del ATC.
- Desviación estándar por error de posición de las aeronaves ( $\sigma$ ).

Esta información puede obtenerse u estimarse considerando las normas de operación del espacio aéreo, estadísticas, métodos empíricos y/o simulaciones. Es fundamental poder obtener datos precisos que se aproximen a la normal operación del aeródromo, de manera tal de poder obtener un modelo que sea fiel a la realidad.

## 3. Aplicación del Método

Como caso de aplicación, se presenta el siguiente análisis que tiene como finalidad estimar la capacidad de pista del Aeropuerto intercontinental George Bush (IAH) bajo condiciones IMC mediante el Método analítico, y compararla con los datos de Benchmark [4] y estimaciones obtenidas por la FAA del año 2014 [5]. La Fig. 6 detalla las operaciones de pista (Verde aterrizajes, rojo despegues), mientras que la Fig. 7 presenta la envolvente presentada en el informe de Benchmark.

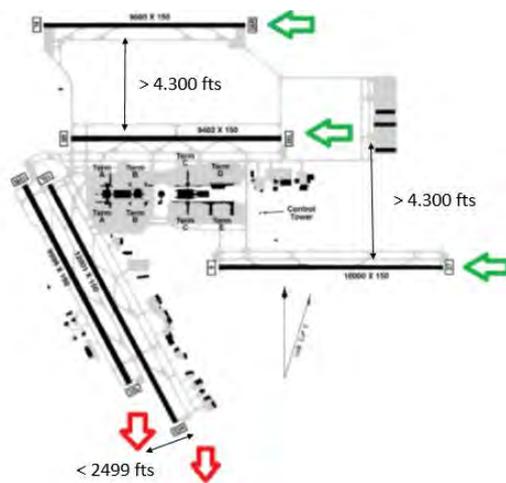


Figura 6 - Operaciones de pista IAH.

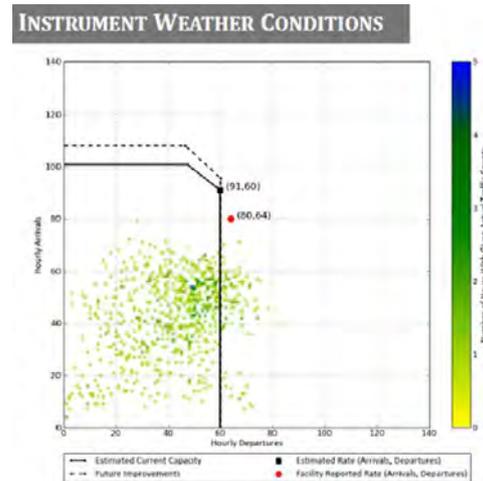


Figura 7 - Envoltorio de capacidad IAH.

Considerando los modos de operación del Aeropuerto George Bush, las separaciones entre ejes de pistas destinadas a arribos, permiten que las operaciones se lleven a cabo de manera independiente entre sí permitiendo arribos simultáneos. Bajo esta consideración es posible evaluar la capacidad de pista destinada exclusivamente a arribos, evaluando una única pista y extendiendo su análisis a las demás. Las pistas destinadas a despegues, posee una separación entre ejes de pista menor a 2499 fts, por lo cual dicho sistema se comporta como una pista única, en donde se deben mantener separaciones mínimas entre despegues reglamentarias [3].

Analizando las cartas de aproximación, podemos considerar por similitud que las sendas de aproximación tendrán una longitud de 6 NM.

### 3.1. Metodología de cálculo y resultados.

Como herramienta para la aplicación del método, se hace uso de una planilla de cálculo presentada en la Fig. 8, la cual cuenta con los algoritmos matemáticos requeridos, los parámetros a ingresar (Inputs) y las gráficas que se desean obtener en conjunto con resultados numéricos.

Programar los algoritmos, Inputs y gráficas, permite al usuario poder verificar los cálculos, modificar parámetros y comparar envoltorios de diversos escenarios y configuraciones de operación.

Esta herramienta permite obtener envoltorios para configuraciones de:

- Pista única.
- Pistas paralelas con operaciones segregadas.
- Pistas paralelas independientes.

Estas configuraciones contemplan operaciones de despegues, arribos u operaciones mixtas. Como parámetros a ingresar en la planilla, se considerarán las características estándares de operación de la Fig. 9 bajo condiciones IMC (Instrument Meteorological Conditions). Para analizar el Mix de aeronaves, se propone agrupar las aeronaves en función a la categoría de *Pesos máximo de despegue* [6]. Basándonos en las operaciones del aeropuerto y el mix [5], se estima que las operaciones podrían caracterizarse con la información proporcionada en la Tabla 1. Las velocidades de aproximación (Average Approach Speeds) fueron tomadas de la referencia [7], considerando viento en calma, en donde la GS (Ground Speed) coincide con la Average Approach Speed.

Haciendo uso de las normas de operación CAA y FAA [8-11], las separaciones entre arribos ( $\delta$ ) durante la fase de aproximación y las separaciones entre despegues ( $t_d$ ), se pueden resumir en las Tablas 2 y 3.

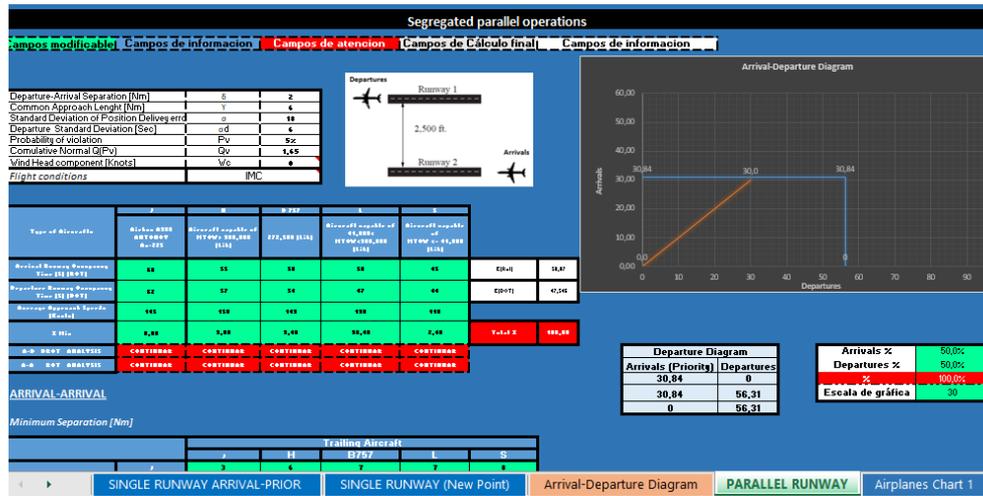


Figura 8 - Captura de pantalla de la planilla utilizada.

Departure-Arrival Separation [Nm]	$\delta$	2
Common Approach Length [Nm]	$\gamma$	6
Standard Deviation of Position Delivery error [Sec]	$\sigma$	18
Departure Standard Deviation [Sec]	$\sigma_d$	6
Probability of violation	$P_v$	5%
Cumulative Normal Q(Pv)	$Q_v$	1,65
Wind Head component [Knots]	$W_c$	0
Flight conditions	IMC	

Figura 9 - Captura de pantalla de los pámetros ingresado para el cálculo.

Tabla 1 – Parámetros característicos del Mix.

Aircrafts/ Performance	Super (J)	Heavy (H)	B757	Large (L)	Small (S)
Arrival Runway Occupancy Time [S] (ROT)	60	55	50	50	45
Average Approach Speeds [Knots]	145	150	143	130	110
Approach Ground Speed [Knots]	145	150	143	130	110
% Mix	0,00	3,80	3,40	90,40	2,40

Tabla 2 – Separaciones entre arribos [Nm].

Leading Aircrafts/ Trailing Aircraft	Super (J)	Heavy (H)	B757	Large (L)	Small (S)
Super (J)	3	6	7	7	8
Heavy (H)	3	4	4	5	6
B757	3	4	4	4	5
Large (L)	3	3	3	3	4
Small (S)	3	3	3	3	3

Tabla 3 – Separaciones entre Despegues [Seg].

Leading Aircrafts/ Trailing Aircraft	Super (J)	Heavy (H)	B757	Large (L)	Small (S)
Super (J)	60	120	180	180	180
Heavy (H)	60	90	120	120	120
B757	60	90	90	90	120
Large (L)	60	60	60	60	90
Small (S)	60	60	60	60	60



### 3.2. Resultados

Considerando los datos de entrada descriptos, como resultado del análisis y los cálculos realizados se obtiene los datos presentados en la Tabla 4 y la Fig. 10.

**Tabla 4 – Resultados obtenidos por pista.**

RWAY Op.	Por Pista [OP/h]	Nº de Pistas [OP/h]	Total [OP/h]
Arrivals	30.84	3	92.52
Departures	56.31	1	56.31

A raíz de los resultados de la Tabla 4, se obtienen aproximadamente 30.84 operaciones para una pista destinada exclusivamente a arribos, mientras que para las pistas destinadas a despegues (Consideradas como pista única) se obtienen 56.31 operaciones. Como condición inicial de este estudio, se estima que el análisis de una pista destinada exclusivamente a arribos podía extenderse a las demás dado su independencia, por lo cual se puede determinar de manera simple que las operaciones para el sistema de pistas destinada a arribos son de 92.52 operaciones horarias. Analizando la envolvente de capacidad obtenida, se observa que la capacidad máxima para el sistema de pistas propuesto es de aproximadamente 148 operaciones por hora.

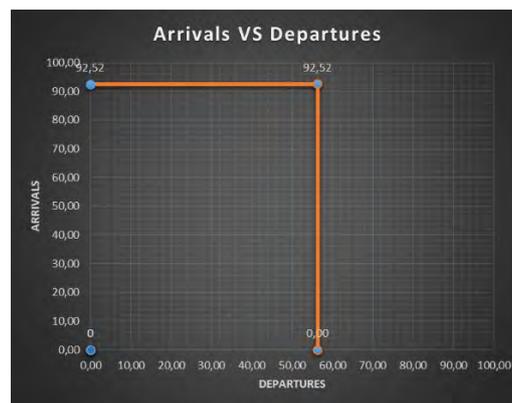


Figura 10 - Envolvente de capacidad calculada.

### 4. Conclusiones

Considerando los resultados obtenidos por el método desarrollado y las estimaciones reportadas por la FAA, la Tabla 5 establece una comparativa de valores de capacidad para las pistas destinadas a arribos y partidas.

**Tabla 5 – Parámetros característicos de aeronaves.**

RWAY	Resultados [OP/h]	FAA [OP/h]	Diferencia %
Arrivals	92.52	91	1,67
Departures	56,31	60	6,15

Se observa que los resultados obtenidos difieren en menor porcentaje a los valores del reporte, verificando que las estimaciones realizadas con este método son válidas para obtener la envolvente de capacidad y evaluar el estado de saturación del aeropuerto. Analizando los resultados, existe una diferencia de un 6,15% entre los valores de capacidad de las pistas destinadas al despegue, lo cual se debe a que los tiempos entre despegues estimados, no son necesariamente coincidentes con los aplicado en Houston.

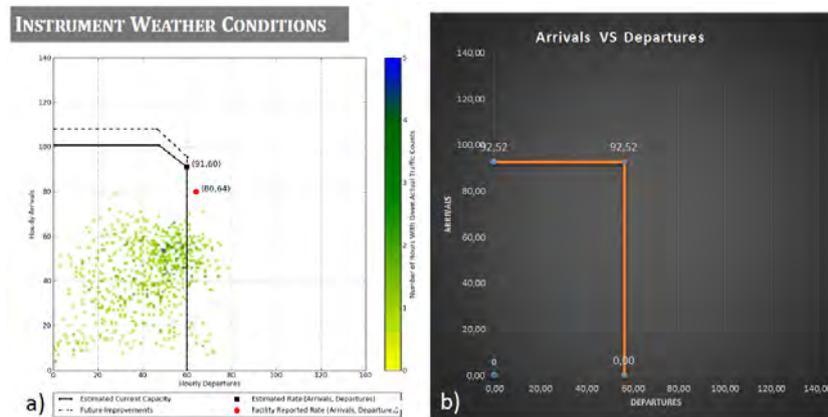


Figura 11 - a) Envoltente FAA; b) Envoltente estimada.

En la Fig. 11 puede encontrarse que las envoltentes de capacidad no coinciden exactamente en su forma, por lo que se deduce que existe una configuración de pista evaluada por la FAA adicional a la declarada en el reporte, que no se ha considerado en el corriente análisis. Como conclusión final se aprecia que la evaluación y las estimaciones realizadas, son congruente con los análisis del reporte de capacidad presentado por la FAA, pudiendo verificarse y aplicarse este modelo a pistas con operaciones y configuración similar.

## Agradecimientos

Mi más profundo agradecimiento al Ing. Aero. Eduardo Carceglia y al Ing. Aero Carlos Varrenti por haber participado y colaborado en este informe.

## Referencias

- [1] Norman J. Ashford, Saleh Mumayiz, Paul H. Wright "Airport, Engineering Planning, Design, and Development of 21st Century Airports", Fourth Edition, JOHN WILEY & SONS, INC, USA (2011).
- [2] William J. Swedish, "Upgraded FAA Airfield Capacity Model Volume 1: Supplemental User's Guide, Virginia", U.S.A. The MITRE Corporation (1981).
- [3] Airport Cooperative Research Program, "ACRP REPORT 79, Evaluating Airfield Capacity", Leigh Fisher, Burlingame, CA, (2011).
- [4] Federal Aviation Administration Operational Analysis Guidance Document, "Operational Analysis Guidance Document, Version 1.0, U.S.A, March 2012. (2012).
- [5] Jennifer Gentry, Kent Duffy, William J. Swedish, "FAA Airport Capacity Profiles", MITRE Corporation, Center for Advanced Aviation System Development, McLean VA 22102-7539 May 2014, (2014). [Online]. Available: [https://www.faa.gov/airports/planning\\_capacity/profiles/media/IAH-Airport-Capacity-Profile-2014.pdf](https://www.faa.gov/airports/planning_capacity/profiles/media/IAH-Airport-Capacity-Profile-2014.pdf). [Accessed: Feb 25, 2019].
- [6] Sharon Kurywchak, "ORDER JO 7360.1D Aircraft Type Designators", U.S Department of Transportation Federal Aviation Administration (2018).
- [7] Advisory Circular, AC No: AC 150/5300-13A, Airport Design, Federal Aviation Administration, U.S.A. February 2014 [Online]. Available: [https://www.faa.gov/airports/engineering/aircraft\\_char\\_database/](https://www.faa.gov/airports/engineering/aircraft_char_database/). [Accessed: Feb 25, 2019].
- [8] CAA, Aeronautical Information Circular P 001/2015 Wake Turbulence, CAA, NATS Services, UK Aeronautical Information Services, Heathrow, UK, 22 January 2015 (2015).
- [9] Craig Guensch, Marshall Koch, Collin Schaffer, Clark Lunsford, "RECAT Phase 2 - Approach to Airport Specific Benefits", The MITRE Corporation, (2012).
- [10] Sebastian Timar and Mark Peters, "Advanced Interval Management: A Benefit Analysis", Saab Sensis Corporation, Campbell, California, NASA/CR-2016-219327, august 2016, (2016).
- [11] Advisory Circular, AC No: 90-23G, "Aircraft Wake Turbulence", U.S Department of Transportation Federal Aviation Administration, February. (2014).



# Calibración de balanza de seis grados de libertad para la medición de cargas aerodinámicas en túnel de viento

*Fabio Milanese<sup>a</sup>, Fabio Marano<sup>a</sup>, Ramiro Bracco<sup>a</sup>*

<sup>a</sup> UTN , Paris 532, Haedo, 1706, Argentina

\* Autor principal, dirección de correo electrónico: [fabiomilanese@gmail.com](mailto:fabiomilanese@gmail.com)

## ABSTRACT

*This work describes the calibration method used for a six component floating frame balance. It seeks to excite separately the six degrees of freedom and analyse the charges on each of the six load cells and in this way build a 6x6 matrix that contains the interaction between the cells and the different degrees of freedom.*

*Keywords: Wind tunnel, external balance, aerodynamic loads, calibration*

## RESUMEN

*Este trabajo describe el método de calibración utilizado para una balanza de seis componentes de marco flotante. El mismo busca excitar de forma separada los seis grados de libertad y analizar las cargas sobre cada una de las seis celdas de carga y de esta manera construir una matriz de 6x6 que contenga la interacción entre las celdas y los distintos grados de libertad*

*Palabras Clave: Túnel de viento, balanza externa, cargas aerodinámicas, calibración*

## 1. Introducción

El objetivo de la calibración es determinar una matriz de 6x6 [1,2] que describa la relación entre las fuerzas aerodinámicas aplicadas y las fuerzas medidas por las celdas de carga. Para calibrar la balanza se implementaron dispositivos y utillajes con el objetivo de cargar de forma aislada cada uno de los grados de libertad, minimizando la influencia de las cargas aplicadas sobre los grados de libertad no excitados. Para el caso analizado de seis grados de libertad los mismos serán los indicados en la Tabla 1.

**Tabla 1 – grados de libertad.**

<b>Grado de Libertad</b>	<b>Eje de Referencia</b>	<b>Tipo</b>	<b>Celdas de Carga involucradas</b>
Resistencia	X	Fuerza	1,2,3,4
Desplazamiento	Y	Fuerza	1,2,5,6
Sustentación	Z	Fuerza	1,2,3
Rolido	X	Momento	1,2
Cabeceo	Y	Momento	1,2,3
Guiñada	Z	Momento	5,6

En dicha tabla se indica su naturaleza o tipo y el eje en el que se desarrolla. La terna de referencia utilizada en todo el proceso de calibración, y la numeración y posición de las celdas de carga es la descrita en las Fig. 1(a) y Fig. 1(b).

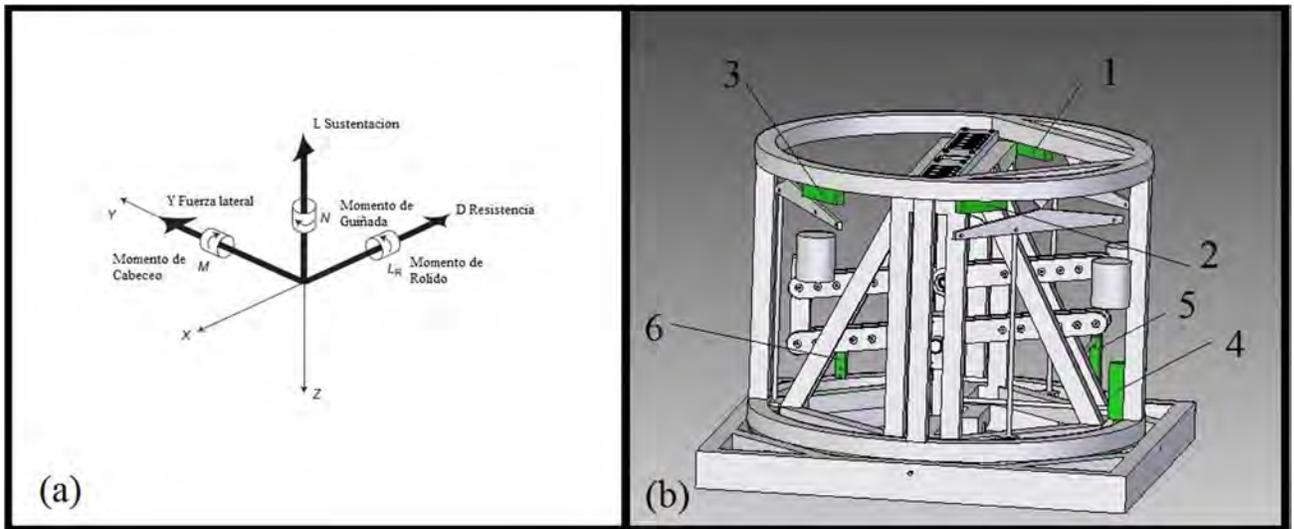


Figura 1 - (a) terna de referencia; (b) posición de celdas de carga.

## 2. Descripción de balanza externa y utillajes

La estructura de la balanza, como indica la Fig. 2, está basada en un marco rotante montado sobre los rodamientos de una bancada niveladora. Dentro del mismo se encuentra un marco flotante asociado de forma estratégica a cada celda de carga. Mediante un sistema de palancas, barras y contrapesos se transmiten los esfuerzos realizados por el modelo a ensayar a las celdas de carga que se encuentran fijas al marco rotante. El marco flotante posee dos columnas para el correcto montaje de los modelos. Para cada grado de libertad existe una combinación de celdas que percibe el tipo de fuerza o momento tal como se muestra en la Tabla 1.

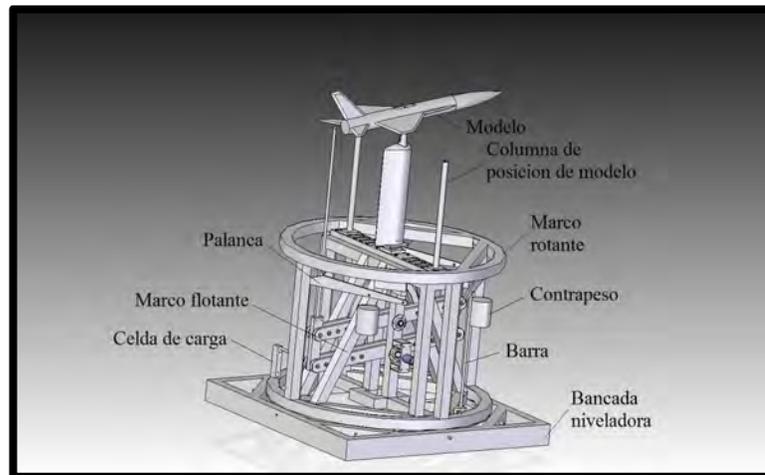


Figura 2 - descripción de la balanza.

Los utillajes están compuestos por poleas, cables de acero, columnas y un marco soporte. Las poleas son utilizadas para direccionar el efecto de los pesos calibrados de prueba, estos se conectan mediante los cables de acero al marco soporte y este último a las columnas de la balanza. En la Fig. 3 se puede observar una configuración típica para la calibración del grado de libertad de momento de guiñada.

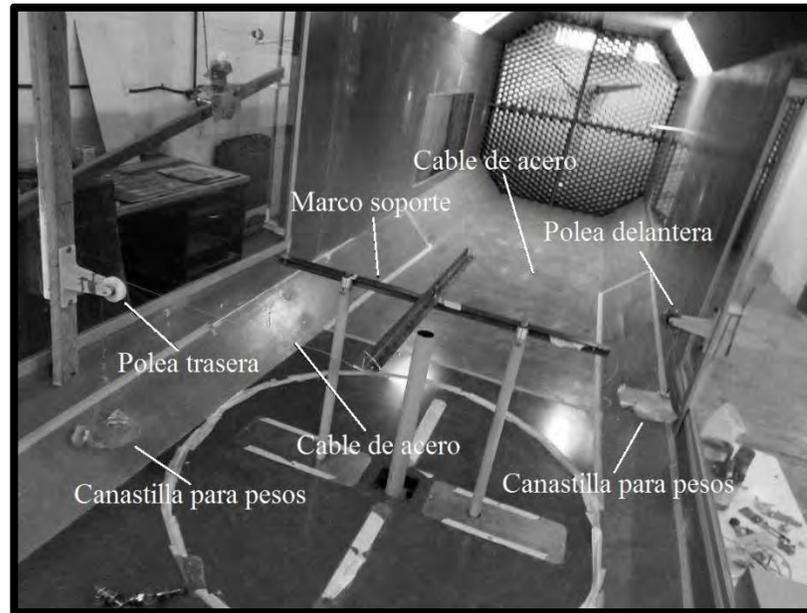


Figura 3 - configuración de utillajes para calibración de momento de guiñada.

### 3. Sistema de adquisición de fuerzas

El sistema está compuesto por un dispositivo electrónico conectado a la balanza externa y en conjunto con un software de pc permite adquirir la fuerza percibida por cada una de las celdas de carga. El sistema embebido mide la señal eléctrica generada por cada celda, que es convertida digitalmente y transmitida a la aplicación para su post procesamiento.

#### 3.1. Descripción del hardware

El hardware está compuesto por una etapa de entrada basada en un set de convertidores AD encargados de medir la señal que proviene de cada una de las celdas. Una segunda etapa de procesamiento (CPU) que se compone de un microcontrolador de 32 bits Cortex M3 cuya tarea principal será controlar el funcionamiento de los convertidores y mantener la comunicación con aplicación de pc. Por último, un módulo de alimentación con filtrado a la entrada para energizar el conjunto. En las Fig. 4(a) y Fig. 4(b) se describen un diagrama en bloques del sistema y el hardware desarrollado.

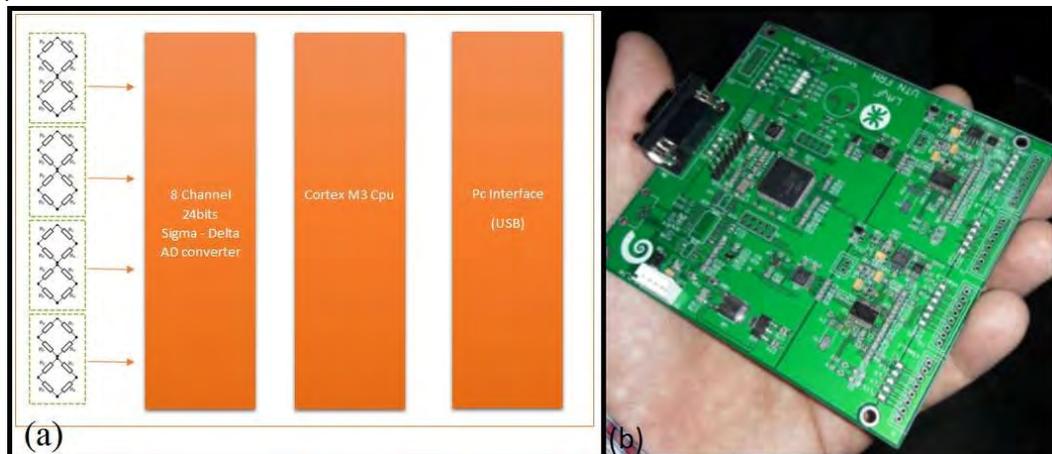


Figura 4 - sistema de adquisición- (a) diagrama en bloques; (b) hardware desarrollado.



### 3.2 Descripción del aplicativo de pc

El software de pc es el encargado de configurar los parámetros de funcionamiento, iniciar mediciones y recibir datos desde la placa de adquisición. Los datos serán procesados para calcular el promedio de fuerza medida en un determinado periodo de tiempo y su desviación estándar. El software cuenta con la posibilidad de setear la tara para tener un cero de referencia, generar calibraciones individuales y cargar una matriz de calibración asociada a una balanza externa. En las Fig. 5 se visualiza la ventana de medición del software.

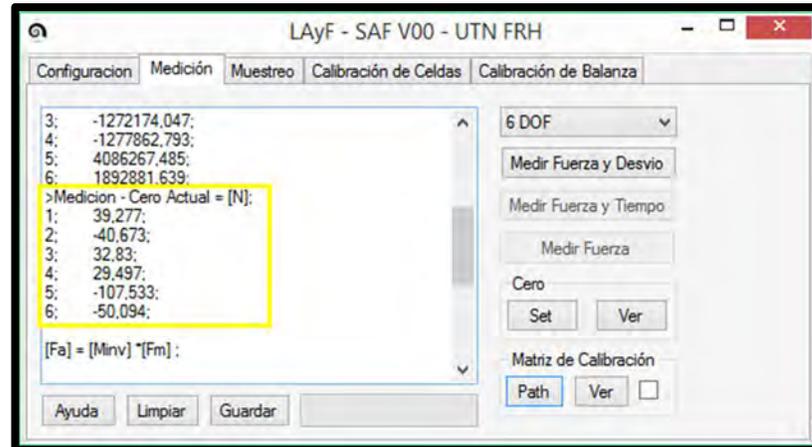


Figura 6 - ventana de medición.

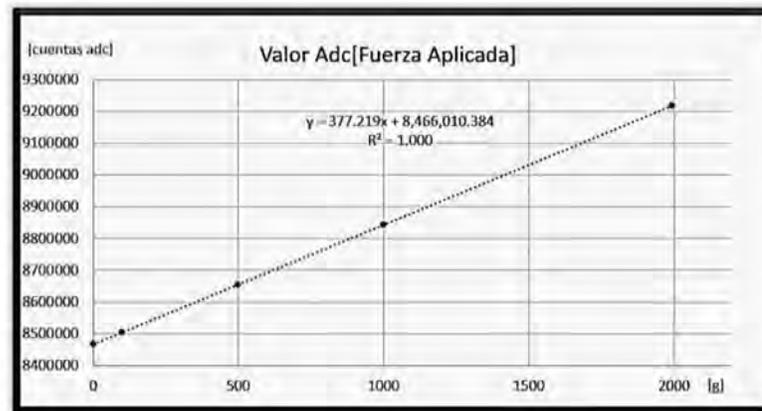
En la Fig. 6 se indica el valor que se mide en cada una de las seis celdas expresado en Newton de una medición realizada. Dicho valor se obtiene de la resta de los valores informados por el hardware y la última tara en cada celda

## 4. Procedimiento de calibración

El procedimiento de calibración está compuesto de dos etapas. En la primera se halla la relación lineal entre la fuerza aplicada a cada celda de forma individual y su correspondiente valor digital cuantificado por la placa de adquisición, para luego construir la recta característica de cada celda. Esta calibración se vuelve a repetir solamente ante el reemplazo de alguna de las celdas. En la segunda, se excita cada grado de libertad por separado con una fuerza conocida y se realiza la lectura de cada celda de carga, para poder armar la matriz de 6x6.

### 4.1 Calibración de las celdas de carga

La calibración individual de cada celda se realizó aplicando una cantidad de pesos conocidos y midiendo el valor digital entregado por el equipo de adquisición. Este proceso se llevó a cabo sobre cada celda desacoplada de la balanza, la cual permitió encontrar la relación lineal entre los pesos aplicados y el valor digital medido. Una vez obtenidas las rectas de calibración de cada celda, las mismas no se vuelven a calibrar salvo que haya un reemplazo de las mismas. Esto es así ya que las curvas de calibración son utilizadas por el software para poder realizar las mediciones provenientes de la balanza. En la Fig. 7 se grafican los puntos de medición para una celda específica y por medio de una regresión lineal podemos encontrar una ecuación necesaria para expresar los resultados de la medición en una medida de peso o fuerza.


**Figura 7 - calibración de celda individual.**

#### 4.2 Calibración de cada grado de libertad

La calibración, en general, consiste en aplicar unos pesos conocidos sobre el utillaje para excitar un determinado grado de libertad y corroborar mediante el software que efectivamente ese peso que simula ser una fuerza o momento se replique en el grado de libertad de interés. Es decir si se pone un peso conocido de por ejemplo un kilogramo en el sentido de la fuerza de sustentación, las celdas involucradas en la medición de este esfuerzo en su conjunto deben arrojar como resultado un kilogramo, verificando el grado de libertad.

Como caso ejemplificador se describirá el procedimiento para calibrar el grado de libertad que representa la fuerza de sustentación y el grado de libertad que representa el momento de guiñada, es importante mencionar que para el resto de los grados de libertad el procedimiento es similar solamente variando la posición de los dispositivos auxiliares y utillajes.

Para calibrar el grado de libertad de sustentación, se monta una polea en el techo del túnel y se conecta un cable de acero entre el centro del marco soporte y la mencionada polea, para poder aplicar los pesos conocidos en el extremo libre del cable de acero. De esta forma el peso que empuja hacia abajo, por acción de la polea en realidad produce una fuerza hacia arriba que representa a la sustentación. En la Tabla 2 se observa que para la calibración de la fuerza de sustentación en la primera columna se encuadran los pesos conocidos (fuerza aplicada) y en las siguientes columnas las fuerzas percibidas por cada celda de carga.

**Tabla 2 – Calibración sustentación.**

Fuerza Aplicada [N]	Fuerza Medida [N]					
	Celda 1	Celda 2	Celda 3	Celda 4	Celda 5	Celda 6
2,5407	-0.2965	-0.2066	0.2188	0.0620	0.0277	0.0283
5,2385	-0.6009	-0.4472	0.4524	0.1451	0.0478	0.0471
10,1435	-1.1473	-0.8738	0.8665	0.2178	0.0953	0.0806
15,0485	-1.6990	-1.2922	1.2898	0.3321	0.1449	0.1202
19,9535	-2.2576	-1.7219	1.7114	0.4310	0.1848	0.1631

En el caso del grado de libertad de momento de guiñada, se implementa una cupla, esta cupla se materializa con

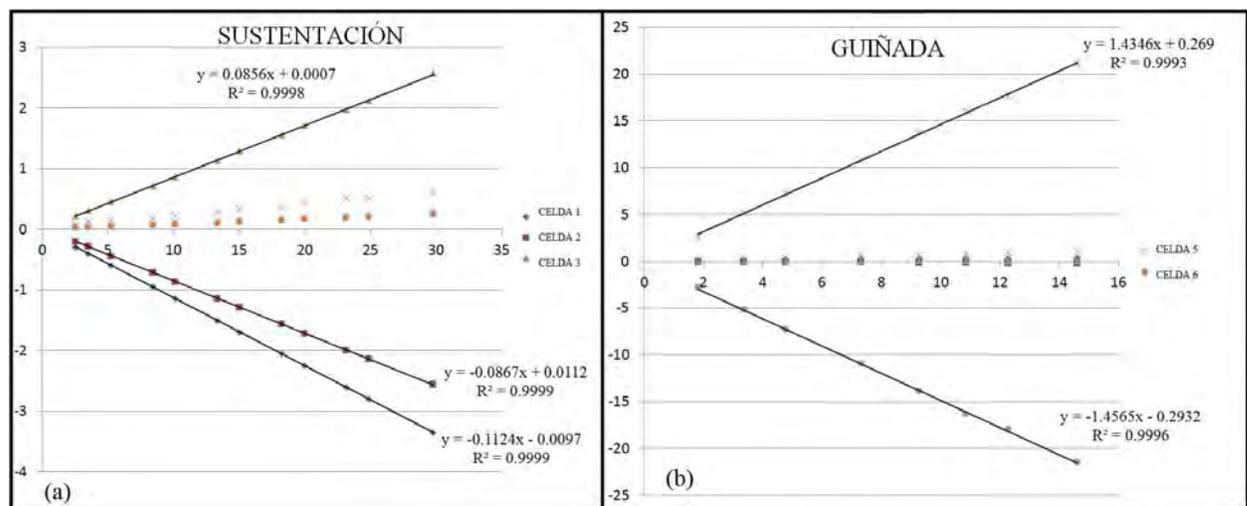


dos poleas ubicadas de manera lateral al marco soporte, opuestas, una adelante y otra atrás, de esta manera con dos pesos iguales en cada polea se simula una cupla pura que materializa el momento de guiñada, tal como se muestra en la Fig. 3 de la sección 2. En la Tabla 3 se representan los valores medidos por cada celda en función al momento aplicado.

**Tabla 3 – Calibración guiñada.**

Momento Aplicado [Nm]	Momento Medido [Nm]					
	Celda 1	Celda 2	Celda 3	Celda 4	Celda 5	Celda 6
1.82	0.0727	-0.0562	0.0362	0.1370	2.6783	-2.8045
4.77	0.1250	-0.0809	0.0411	0.3566	7.2079	-7.3237
9.27	0.2097	-0.1225	0.0434	0.6559	13.757	-13.918
12.28	0.3077	-0.1967	0.0604	0.9359	17.66	-17.976
14.61	0.3493	-0.2454	0.0695	1.0562	21.09	-21.494

De las Tablas 2 y 3 se extraen los valores para confeccionar las rectas de calibración que se muestran en las Fig. 8 (a) y Fig. 8 (b). Para cada grado de libertad se realiza este procedimiento, por lo tanto para los seis grados de libertad se obtendrán un total de 36 rectas de calibración, donde los datos de interés para armar la matriz son las pendientes de cada recta ya que la ordenada es nula.


**Figura 8 - Rectas de calibración - (a) sustentación; (b) guiñada.**

Este proceso se realiza para los seis grados de libertad donde se hallan las 36 rectas de calibración, y se extraen las pendientes que son los valores de interés.

## 6. Construcción de la matriz de la balanza

Concluido el proceso de calibración se arma la matriz de coeficientes. Cada elemento de esta matriz es la pendiente de cada recta de calibración hallada. Expresando matricialmente la relación que vincula las fuerzas medidas con las



fuerzas aplicadas:

$$\{Fm\} = [Mb] \times \{Fa\} \quad (1)$$

Donde:

$\{Fm\}$  = vector de fuerzas medidas

$[Mb]$  = matriz de la balanza

$\{Fa\}$  = vector de fuerzas aplicadas

### 6.1 Matriz de coeficientes

La matriz de coeficientes hallada es:

$$[Mb] = \begin{bmatrix} 0.2489 & 0.4226 & 0.1124 & -0.3883 & 0.2147 & 0.0214 \\ 0.2494 & -0.4507 & 0.0867 & 0.3877 & 0.2276 & -0.0123 \\ 0.5269 & -0.0028 & -0.0856 & -0.0116 & 0.4708 & 0.0006 \\ 0.9725 & 0.0002 & 0.0196 & 0.0328 & 0.0606 & 0.0677 \\ -0.0245 & 0.4362 & 0.0093 & -0.0639 & -0.0226 & -1.4734 \\ 0.0822 & 0.5216 & 0.0078 & 0.0119 & 0.0516 & 1.4855 \end{bmatrix} \quad (2)$$

### 6.2 Cálculo de la matriz inversa

La expresión matricial (1) presenta como incógnita al vector de fuerzas medidas, esto es así durante la calibración ya que el vector conocido es el de fuerzas aplicadas. Pero la realidad indica que el vector incógnita es el de fuerzas aplicadas, que está compuesto de fuerzas y momentos de origen aerodinámico y las cuales queremos determinar, por lo que el arreglo matricial presentado en la expresión (1) resulta:

$$\{Fa\} = [Mb]^{-1} \times \{Fm\} \quad (3)$$

Siendo  $[Mb]^{-1}$  la inversa de la matriz de la balanza que se había obtenido con las pendientes de las rectas de calibración de cada una de las celdas de carga y su combinación

## 7. Verificación

Para verificar la validez del proceso de calibración comparamos la matriz (2) con el análisis desarrollado en [2]. La matriz analítica obtenida en dicho desarrollo es:

$$[Mteo] = \begin{bmatrix} -0.3067 & 0.5379 & 0.1039 & -0.4526 & 0.2321 & 0 \\ 0.3067 & -0.5379 & 0.1039 & 0.4526 & 0.2321 & 0 \\ 0.5583 & 0 & -0.0908 & 0 & 0.4225 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & -1.5006 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 1.5006 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Dónde:

$[Mteo]$  es la matriz analítica de la balanza según [2]

Comparando la matriz experimental hallada (2) y la matriz analítica (4) encontramos en cada coeficiente una diferencia expresada de forma porcentual como la que se muestra en la siguiente tabla:


**Tabla 4 – Tabla de diferencias respecto del modelo teórico.**

DIFERENCIAS						
	X	Y	Z	MX	MY	MZ
1	19%	21%	-8%	-14%	7%	----
2	19%	16%	17%	-14%	2%	----
3	5%	----	6%	----	-11%	----
4	-3%	----	----	----	----	----
5	----	-13%	----	----	----	2%
6	----	4%	----	----	----	1%

## 8 Conclusiones

De todo lo aquí expuesto se observa que existen ciertas diferencias entre el método de calibración práctico y el analítico para algunos grados de libertad, esto se evidencia en las matrices presentadas en la secciones 6 y 7 debido a posibles errores de alineación de los componentes mecánicos constructivos de la balanza y/o de los utillajes de calibración. No obstante los resultados obtenidos se encuentran en el orden de lo esperado.

## Agradecimientos

Se agradece la desinteresada e invaluable colaboración del Msc. Ing. Miguel Ángel Aguirre por su constante aporte al Laboratorio de Aerodinámica y Fluidos de la UTN FRH.

## Referencias

- [1] A. Miguel, “Design of an external six-component wind tunnel balance”, Inderscience, 1743-5455, 2019.  
 [2] W.H. Rae, “Low speed wind tunnel testing”, Second edition, New York, Wiley-InterScience, 1984.



# Accidentología



# Investigación sobre mal uso de banquetas en General Paz, CABA, Buenos Aires, Argentina

*Melina Dorsa, Ing. Fabián Pons*

*Mariano Acha 3706 PB Dpto 2, Saavedra, CABA, Argentina*

*melina.dorsa@ovilam.com, fabian.pons@ovilam.com*

## ABSTRACT

*11 of every 100 drivers use the shoulders at rush hours. The use of the shoulders presents a problem that has multiple faces and boarding points. In this paper we will try to see the subject in all its aspects, seeking to obtain in-depth conclusions.*

## RESUMEN

*11 de cada 100 conductores usan las banquetas en horas pico. El uso de las banquetas presenta un problema que tiene múltiples caras y puntos de abordaje. En este trabajo vamos a tratar de ver el tema en todos sus aspectos buscando obtener conclusiones de fondo.*

## 1. Introducción

Si vemos cualquier tipo de vehículo circulando por la banquina de una ruta o autopista podemos tener varias reacciones y/o justificaciones ante el hecho. Podemos contar cuantos vehículos son y de qué tipo, podemos pensarlo desde el punto de vista legal, desde el tema infraestructura, desde el sociológico e inclusive desde lo cultural. Nuestra intención en este trabajo es ver el tema con todos esos cristales ya que somos un observatorio multidisciplinario.

### 1.1. Estructura

#### 1.1.1 Realización del trabajo:

El trabajo se inició con una serie de toma de datos de campo a través de filmaciones realizadas en Av Gral Paz frente a Tecnópolis con sentido al Río de la Plata y en Av Gral Paz y Av. San Martín con sentido al Riachuelo. Las tomas se realizaron durante la última semana de septiembre de 2018 (de lunes a viernes) en horas pico. Los horarios elegidos fueron de 7:30 a 8:30 en sentido Río de la Plata y de 17:30 a 18:30 en dirección al Riachuelo.

Se contabilizaron la cantidad de vehículos por hora que transitan la Av Gral Paz en esos horarios, cantidad y tipo de vehículos que circulan por la banquina y género de los conductores. Luego se realizó el análisis estadístico de la información, se consideraron los aspectos legales de la circulación en banquina, se analizaron los aspectos de la infraestructura vial y siniestralidad y por último se hizo el análisis sociológico de lo observado.



### 1.1.2 Análisis estadístico:

En primer lugar se determinó el flujo de circulación promedio de vehículos (de todo tipo) en los puntos donde se iba a realizar la observación. El resultado obtenido fue en promedio de 9100 unidades entre las 7:30 y 8:30 hs a la altura de Tecnópolis con sentido al Río de la Plata y de casi 9400 unidades entre la 17:30 y las 18:30 hs a la altura de la Av. San Martín con sentido al Riachuelo. La segunda observación consistió en contabilizar la cantidad de mujeres y hombres que conducían los vehículos particulares. Esta observación arrojó con un 19,9% de los conductores eran mujeres y un 80,1% hombres. Por lo tanto uno de cada cinco vehículos es conducido en horario pico por la Av. Gral Paz por una mujer.

### 1.1.3 Por la mañana:

Del análisis de la información recabada surgió que la cantidad de vehículos que circularon por la banquina en horas de la mañana fue en promedio de 952 unidades/hora (10,5% del total) lo que significa que algo más de uno de cada 10 vehículos circulaban en forma indebida, siendo los vehículos particulares los que más utilizaron esa zona de la vía con un 63,9%, seguidos por las motos con un 22,9%. El restante 13,2% se dividió entre camionetas, utilitarios pequeños y grandes, transportes privados de personas, camiones, taxis, ambulancias, vehículos oficiales o de seguridad y colectivos.

En la Figura 1 se observa a la izquierda la cantidad de vehículos que circularon por la banquina (en naranja) respecto del total de vehículos circulantes. De aquellos vehículos que circularon en infracción se observa en el centro la clasificación por tipo de vehículos (particulares, motos y resto de vehículos). A la derecha se observa el género del conductor/a de los vehículos particulares solamente.

Un aspecto llamativo fue que “las conductoras” de vehículos particulares usuarias de las banquetas fueron el 13,8%, o lo que es casi lo mismo, uno de cada siete vehículos particulares que avanzaba por la banquina estaba manejado por una mujer. Esto indica que las mujeres, en términos relativos, tienden a ser más respetuosas del “no uso” de las banquetas que los hombres, ya que como se dijo anteriormente participan en el 19,9% del total de los vehículos particulares (Figuras 2 y 3).

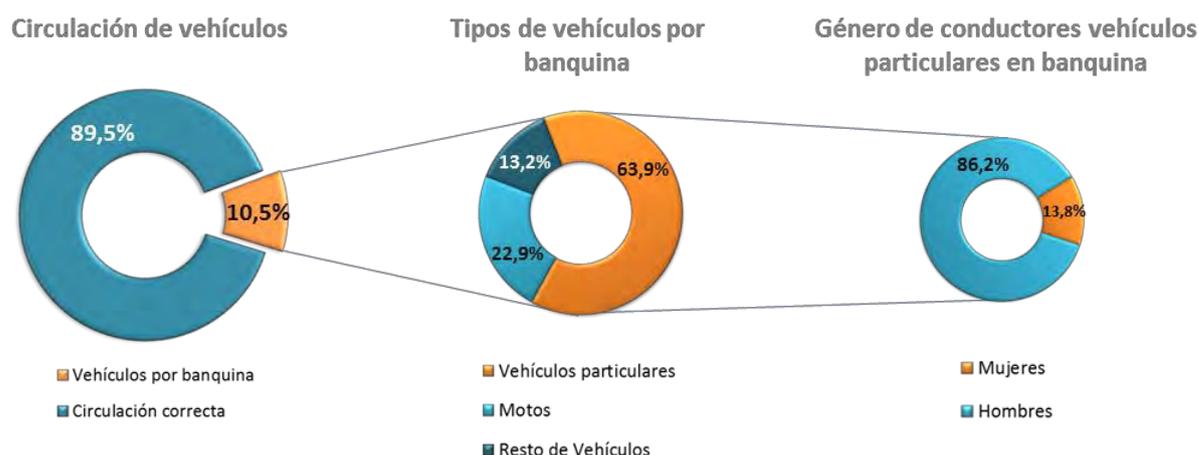
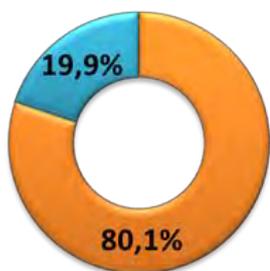


Figura 1 – Cantidad de vehículos que circulan por banquina (por la mañana). Clasificación por tipo de vehículos y sexo del conductor.



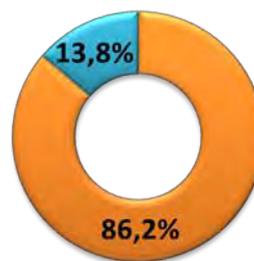
Distribución por sexo del total de conductores de vehículos particulares



■ Hombres ■ Mujeres

Figura 2 - Distribución por sexo del total de conductores de vehículos particulares

Distribución por sexo de conductores de vehículos particulares en infracción (mañana)



■ Hombres ■ Mujeres

Figura 3 - Distribución por sexo de conductores de vehículos particulares en infracción (mañana)

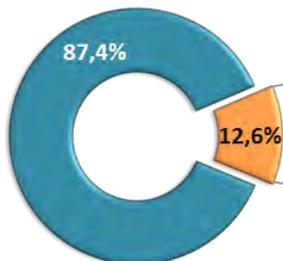
### 1.1.4 Por la tarde

La cantidad de vehículos que circularon por la banquina en horas de tarde a la altura de la Av. San Martín fue en promedio de 1185 unidades/hora (12,6% del total) por lo que uno de cada 8 vehículos lo hacía por el lugar inapropiado, siendo también los vehículos particulares los que más utilizaron las banquetas con un 61,8%, seguido por las motos con un 21,5%. El restante 16,7% se dividió entre camionetas, utilitarios pequeños y grandes, transportes privados de personas, camiones, taxis, ambulancias, vehículos oficiales o de seguridad y colectivos. Un dato interesante es que más del 85% de los colectivos que pasaron lo hicieron utilizando la banquina como vía de circulación.

En la Figura 4 se observa a la izquierda la cantidad de vehículos que circularon por la banquina (en naranja) respecto del total de vehículos circulantes. De aquellos vehículos que circularon en infracción se observa en el centro la clasificación por tipo de vehículos (particulares, motos y resto de vehículos). A la derecha se observa el género del conductor/a de los vehículos particulares solamente.

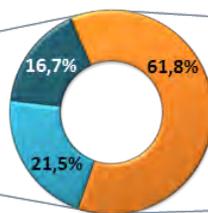
En este caso “las conductoras” de vehículos particulares mostraron no estar tan apuradas para volver a casa como los hombres, ya que solo el 10,7%, de quienes circularon por la banquina eran mujeres. En otras palabras un poco más de, uno de cada diez vehículos particulares circulando por la banquina estaba manejado por una mujer (Figuras 5 y 6).

Circulación de vehículos



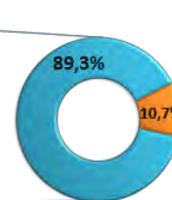
■ Vehículos por banquina ■ Circulación correcta

Tipos de vehículos por banquina



■ Vehículos particulares ■ Motos ■ Resto de Vehículos

Género de conductores vehículos particulares en banquina



■ Mujeres ■ Hombres

Figura 4 – Cantidad de vehículos que circulan por banquina (por la tarde). Clasificación por tipo de vehículos y sexo del conductor.



Distribución por sexo del total de conductores de vehículos particulares

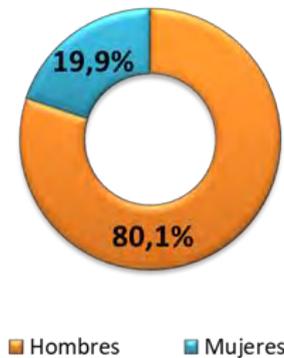


Figura 5 - Distribución por sexo del total de conductores de vehículos particulares

Distribución por sexo de conductores de vehículos particulares en infracción (tarde)

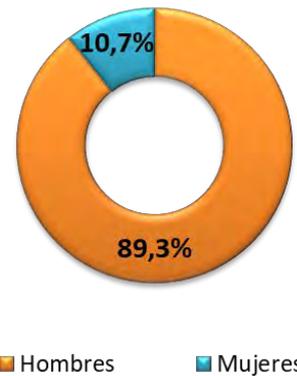


Figura 6 - Distribución por sexo de conductores de vehículos particulares en infracción (tarde)

### 1.1.5 Análisis legal:

En primer lugar la Ley 24449 en su artículo 5 inciso f) define a la banquina como “la zona de la vía contigua a una calzada pavimentada, de un ancho de hasta tres metros, si no está delimitada”. Por su parte, la Ley 2148 (Código de Tránsito y Transporte de la CABA) define a la banquina como “zona adyacente y paralela a la calzada de rutas, autopistas, semiautopistas o caminos, provista para mayor seguridad del tránsito de vehículos” y a su vez define a la “Calzada” como el “Sector delimitado de la vía pública destinado a la circulación de vehículos”. Por lo tanto la banquina no es un carril de circulación sino una zona de emergencia.

En el artículo 42, que habla sobre cómo debe realizarse el adelantamiento a otro vehículo, dice: “El adelantamiento a otro vehículo debe hacerse por la izquierda”, esto implica que no se puede sobrepasar por la banquina.

Por su parte en el artículo 48 de la ley 24449, que habla sobre “Prohibiciones”, se refuerza el criterio anterior de acuerdo a lo expresado en el inciso c) que dice: “Está prohibido en la vía pública a los vehículos, circular a contramano, sobre los separadores de tránsito o fuera de la calzada, salvo sobre la banquina en caso de emergencia”. Queda claro nuevamente que la banquina es una zona de emergencia que no debe ser usada como carril de circulación y/o adelantamiento. En el mismo artículo pero en el inciso i) se expresa que “queda prohibida la detención irregular sobre la calzada, el estacionamiento sobre la banquina y la detención en ella sin ocurrir emergencia”, por lo tanto también queda claro que la banquina no es una zona de estacionamiento para la carga y descarga de pasajeros como vemos habitualmente a la vera de las autopistas.

### 1.1.6 Aspectos de la infraestructura y la siniestralidad:

Que la Av. Gral Paz ha quedado chica para albergar la cantidad de tránsito que circula en horas pico no es una novedad. Con la construcción de los nuevos puentes y la ampliación a 4 carriles en toda la traza desde Acceso Oeste hasta Panamericana, inaugurada el 5 de octubre del año 2015, se ha mejorado la circulación pero dista de ser suficiente. Estas modificaciones también se vieron reflejadas en la construcción de amplias banquinas en la mayor parte de la traza en ambos sentidos de circulación, lo que le confiere a la Av. Gral Paz



mayor seguridad de la que tenía tiempo atrás.

El uso inapropiado de las banquinas genera diariamente una cantidad importante de siniestros, principalmente los protagonizados por motociclistas que circulan en forma indebida y son embestidos por otros vehículos que quieren salir de la traza de la Av. Gral Paz o por aquellos que también quieren ingresar en forma inadecuada a la banquina.

Un aspecto curioso es que nadie da el ejemplo. Hemos observado en este estudio circulando por las banquinas a vehículos de Gendarmería Nacional, motocicletas de la Policía Federal, vehículos oficiales y ambulancias, todos ellos desplazándose sin estar en emergencia. Algo similar ocurrió con conductores profesionales de camiones y taxis.

### **1.1.7 Aspectos sociológicos:**

Tal vez este punto sea el más interesante de evaluar y el más complejo de resolver. Cuando se le preguntó a algunos conductores los motivos por los que circulaban por la banquina las respuestas fueron tales como:

- *Si es un carril más, ¿por qué no voy a usarlo?*
- *Estoy apurado y voy por donde puedo*
- *Si nadie controla aprovecho y voy por la banquina*
- *¿Qué? ¿Sos policía que me preguntás eso?*
- *La banquina está para usarla, todos lo hacen.*

Esto demuestra por un lado la falta de conocimiento de la ley de tránsito y por el otro lado aflora claramente el sentimiento de “impunidad”. Nadie controla. Nadie castiga. Es la ley de la selva.

Otro tipo de reacción observada fue la agresiva pero en dos aspectos distintos. La primera es la agresión entre los usuarios de las banquinas, principalmente motociclistas, que insultan y le tocan bocina a los vehículos que no avanzan más rápidamente por esa zona prohibida y la segunda es la de los “conductores justicieros” que se sienten avasallados al verse superados ilegalmente e impiden el avance de quienes circulan por la banquina. Esto último muchas veces termina en insultos, roces de vehículos e inclusive intentos de agresión física.

Un aspecto interesante también fue observar la reacción de aquellos que, conscientes de que circulaban por el lugar indebido, en lugar de modificar su conducta agredían a quienes realizaban la investigación. No fueron pocos los que se detenían a preguntar si se trataba de fotomultas, los que insultaban e incluso amenazaban con volver para atacar a los investigadores. Esto marca claramente la resistencia que presentamos a ser controlados y ajustarnos a las normas establecidas.

El último aspecto evaluado en este punto es “la falta de respeto al prójimo”. Quien se adelanta por la derecha, en un espacio prohibido, lo hace con la intención de ganar posiciones sobre quienes lo preceden a costa de molestar a todos ellos cuando reingrese a los carriles habilitados. Esta típica “avivada criolla” deja de serlo cuando la hacen muchos, ya que solo logran colapsar aún más a un tránsito ya caótico. La intención está en salvarse uno y el resto no me importa nada. Es una muestra clara de cómo pensamos y qué tipo de cultura nos rige.

### **1.1.8 Aspectos del control y sanción:**

Es algo más que conocido que la ley sin control se convierte generalmente en letra muerta. En el presente estudio y en nuestra actividad cotidiana vemos que prácticamente han desaparecido los denominados “controles dinámicos” en casi todas las jurisdicciones del país y en este caso particular en la Ciudad de Buenos Aires. Se entiende por control dinámico a aquel realizado por las autoridades de control circulando en vehículos (motos o patrulleros) que se mueven al ritmo del tránsito observando las conductas de todos los participantes del entorno vial. Esos controles no solo sirven para realizar multas sino que pueden utilizarse como medios pedagógicos y de concientización.

Por otro lado tampoco se instalaron, ante semejante problemática, puestos fijos con cámaras que puedan realizar fotomultas.

Por lo tanto, la circulación en forma indebida por las banquinas de la Gral Paz, que genera año a año gran



cantidad de siniestros y como consecuencia de ello, heridos y muertes, no ameritó la confección de multas en los últimos años.

Las autoridades de control tienen una inmejorable oportunidad para agilizar el tránsito, evitar siniestros y reducir la morbilidad y mortalidad con tan solo generar controles a lo largo de toda la traza.

### ***1.1.9 Soluciones:***

Las soluciones existen y deben implementarse rápidamente. La primera y más fácil es establecer controles. Estos deben ser estáticos, a través de cámaras con reconocimiento de placas patentes, pero también debe haber controles dinámicos, con móviles de las autoridades moviéndose al ritmo del tránsito para ver lo que todos vemos cotidianamente y nadie castiga.

La educación vial también es fundamental, pero van a verse sus frutos luego de varios años. Todos los trabajos en educación, concientización, control y sanción deben estar enfocados en lograr un cambio cultural, cambio que debe comenzar demostrando la voluntad política de encarar el problema en todos sus aspectos y con autoridades de control que “quieran” trabajar para revertirlo en lugar de convertirse en meros espectadores o lo que es aún peor siendo un mal ejemplo para el resto del entorno vial.

## **Referencias**

[1] Ley 24449/94 (Ley Nacional de Tránsito)



# Flexión elástico-plástica de tubos de sección circular utilizados en estructuras de protección contra vuelco de vehículos

*Horacio M. Mirassou*

UTN FRGP, Hipólito Yrigoyen 288, General Pacheco B1617, Argentina  
 dirección de correo electrónico: [hmmirassou@yahoo.com](mailto:hmmirassou@yahoo.com)

## ABSTRACT

*The standard "Laboratory Test Procedure for FMVSS 216 Roof Crush Resistance" TP-216-05, USA (2006), establishes strength requirements for the passenger compartment roof of passenger cars, multipurpose passenger vehicles, trucks and buses with a GVWR of 2722 kg or less. The purpose of the standard is to reduce deaths and injuries due to the crushing of the roof into the passenger compartment in rollover accidents. This procedure establishes to support the chassis or self-supporting vehicle body to be tested on a special metal base, and from above compress the roof with a static load device consisting of a rigid block of 762 by 1829 mm driven by a hydraulic piston or other mechanic system. The direction of the applied force is defined inclined at a certain angle with respect to a vertical axis. The resistive force that must be reached is 1½ times the weight of the unloaded test vehicle (UVW) or 22240 N, whichever is less. Both the left and right front portions of the vehicle's roof structure shall be capable of meeting the requirements. In the design and sizing of these structures, some calculation method must be applied to verify their resistance before carrying out the test, which has a high cost. For this, the finite element method that includes elastic and plastic deformations can be used. Calculation methods based on studies of Strength of Materials also can be used, such as the one that is exposed in this work, applicable to structures formed by tubes of circular section of steel material of low carbon content.*

*Keywords: Rollover, Test, Resistance, Vehicle, Elastic-plastic.*

## RESUMEN

*En la norma "Laboratory Test Procedure for FMVSS 216 Roof Crush Resistance" TP-216-05, de USA (2006), se define un Procedimiento de Ensayo para verificar la resistencia al aplastamiento del techo del compartimiento de pasajeros de automóviles, vehículos de pasajeros de usos múltiples, camiones y autobuses con un GVWR de 2722 kg o menos. Su propósito es reducir las muertes y lesiones causadas por el aplastamiento del techo en el compartimiento de pasajeros en accidentes con vuelco. En este procedimiento se establece apoyar el chasis o la carrocería autoportante del vehículo a ser ensayado sobre una base metálica especial, y desde arriba comprimir al techo con un dispositivo de carga estática que consiste en un bloque rígido de 762 por 1829 mm accionado por un pistón hidráulico u otro sistema mecánico. Se define a la dirección de la fuerza aplicada inclinada formando un determinado ángulo con respecto de un eje vertical. La fuerza resistiva que se debe alcanzar es 1½ veces el peso del vehículo de prueba descargado (UVW) o 22240 N, lo que resulte menor. Las partes delantera izquierda y derecha de la estructura del techo del vehículo deben ser capaces de cumplir con los requisitos. En el diseño y dimensionamiento de estas estructuras se debe aplicar algún método de cálculo que permita verificar su resistencia antes de efectuar el ensayo, que tiene un costo elevado. Para esto se puede utilizar el método de los elementos finitos que incluya deformaciones elásticas y plásticas. También se pueden emplear métodos de cálculo basados en estudios de Resistencia de Materiales, como el que se expone en este trabajo, aplicable a estructuras formadas por tubos de sección circular de material acero de bajo contenido de carbono.*

*Palabras Clave: Vuelco, Ensayo, Resistencia, Vehículo, Elástico-plástico.*

## 1. Introducción

En la norma [1] "Laboratory Test Procedure for FMVSS 216 Roof Crush Resistance" TP-216-05, de USA (2006), se define un Procedimiento de Ensayo para verificar la resistencia al aplastamiento del techo del compartimiento de pasajeros de automóviles, vehículos de pasajeros de usos múltiples, camiones y autobuses con un GVWR de 2722 kg o menos. El propósito de esta norma es reducir las muertes y lesiones causadas por el aplastamiento del techo en el compartimiento de pasajeros en accidentes con vuelco.

En este procedimiento se establece apoyar el chasis o la carrocería autoportante del vehículo a ser ensayado sobre una



base metálica especial, y desde arriba comprimir al techo con un dispositivo de carga estática que consiste en un bloque rígido de 762 por 1829 mm accionado por un pistón hidráulico u otro sistema mecánico. Se define a la dirección de la fuerza aplicada inclinada formando un determinado ángulo con respecto de un eje vertical.

Esto se muestra en la Fig. 1(a), que está tomada de la norma [1]. La fuerza resistiva que se debe alcanzar es  $1\frac{1}{2}$  veces el peso del vehículo de prueba descargado (UVW) o 22240 N, lo que resulte menor. Las partes delantera izquierda y derecha de la estructura del techo del vehículo deben ser capaces de cumplir con los requisitos.

En la Fig. 1(b), obtenida de [11], se muestra como ejemplo un prototipo de automóvil con estructura contra vuelco.

En el diseño y dimensionamiento de estas estructuras se debe aplicar algún método de cálculo que permita verificar su resistencia antes de efectuar el ensayo, que tiene un costo elevado.

Para esto se puede utilizar el método de los elementos finitos que incluya deformaciones elásticas y plásticas.

También se pueden emplear métodos de cálculo basados en estudios de Resistencia de Materiales, como el que se expone en este trabajo, aplicable a estructuras formadas por tubos de sección circular de material acero de bajo contenido de carbono, dado que esta clase de tubos se utiliza en muchos casos, como en vehículos especiales y en prototipos.

En general las estructuras contra vuelco se dimensionan de modo que puedan sufrir deformaciones plásticas en caso de ocurrir un vuelco, por eso en este trabajo se estudia la flexión elástico-plástica de los tubos de sección circular.

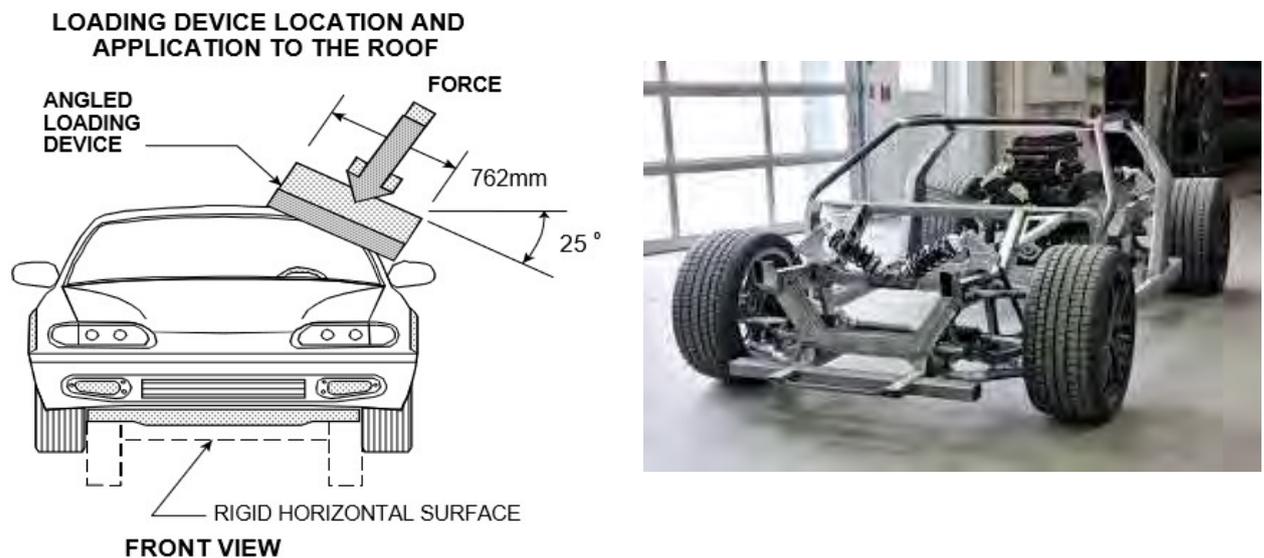


Figura 1 – (a) Ensayo según norma TP-216-05; (b) Un prototipo de automóvil con estructura contra vuelco.

## 2. Flexión elástico-plástica de tubos de sección circular

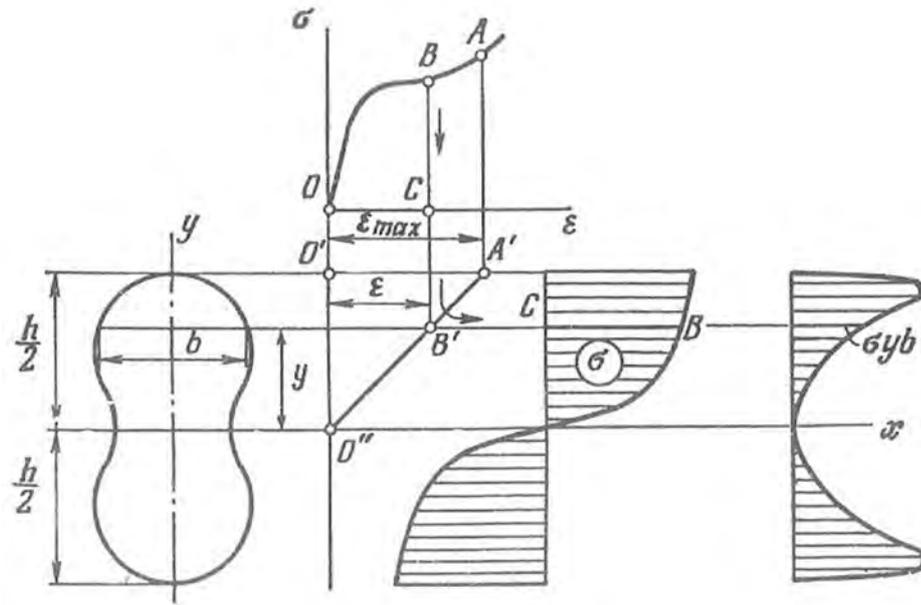
En la Fig. 2, tomada de [4], se muestra un trazado que forma parte de un método para relacionar al momento flexor aplicado a una barra con las tensiones y deformaciones resultantes de ese caso de flexión elástico-plástica.

Este método se expone en [4] (págs. 384 a 386), para flexión pura aplicada a barras rectas de sección transversal con dos ejes de simetría normales entre sí, y cuyo material presenta diagramas iguales de tensiones ( $\sigma$ ) de tracción y de compresión en función de la deformación específica ( $\epsilon$ ). Entonces el eje neutro coincide con el eje de simetría perpendicular al plano del momento flexor.

Se considera como hipótesis que las secciones permanecen planas en ambos períodos elástico y plástico, por esto la deformación específica ( $\epsilon$ ) de cada fibra de la sección es directamente proporcional a su distancia ( $y$ ) al eje neutro, e inversamente proporcional al radio de curvatura ( $R$ ) de la línea elástica que pasa por el eje neutro en esa sección.

Se debe conocer el diagrama  $\sigma, \epsilon$  del material, en la Fig. 2 está ubicado en su zona superior. Para un determinado radio de curvatura  $R$  se calcula la máxima deformación específica  $\epsilon_{\max}$  como  $y_{\max}$  de la sección dividida por  $R$ .

Para  $\epsilon_{\max}$  se obtiene del diagrama  $\sigma, \epsilon$  del material el valor de  $\sigma_{\max}$  que actúa en la fibra más alejada ( $y_{\max}$ ). Para cada fibra de coordenada  $y$ , se obtiene del diagrama  $\sigma, \epsilon$  del material el valor de  $\sigma$  correspondiente. En la Fig. 2 se representa este proceso: a la derecha de la sección se traza un diagrama de las tensiones  $\sigma$  que actúan en cada fibra. A la derecha de ese diagrama se traza otro: para cada fibra el producto  $\sigma \cdot y \cdot b$ , su área encerrada es igual al momento flexor  $M_f$ .



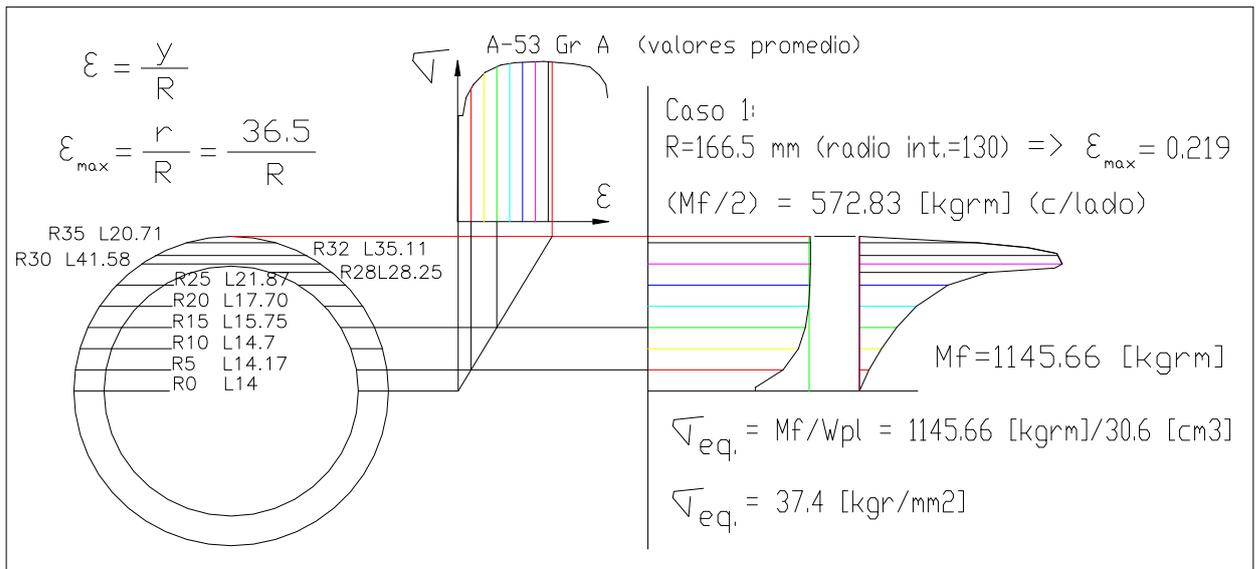
**Figura 2 – Trazado para relacionar momento flexor aplicado con flexión elástico-plástica de una barra.**

De la Figura 7-3 (diagrama  $\sigma, \epsilon$ ) de [8] se obtienen estos valores para un acero SAE 1010 (con 0,1% C):  
 Resistencia a la tracción mínima: 54100 psi = 38 kgf/mm<sup>2</sup> = 373 MPa      Elongación en la fractura: 40%  
 Tensión de fluencia mínima: 29600 psi = 20,8 kgf/mm<sup>2</sup> = 204 MPa  
 Tensión de fluencia promedio: 35500 psi = 25 kgf/mm<sup>2</sup> = 245 MPa

En [9] Sección 5 (Fig.1) se muestra un diagrama  $\sigma, \epsilon$  de acero de bajo carbono.

En la Fig. 3 se muestra la aplicación del método descrito para un tubo de diámetro exterior 73mm y espesor 7mm, material acero ASTM A-53 Gr. A, se consideró: Resistencia a la tracción 38 kgf/mm<sup>2</sup>, Tensión de fluencia 25 kgf/mm<sup>2</sup>, Elongación en la fractura 35%, este trazado se realizó para R=166,5mm, se obtuvo:  $M_f = 1145,6 \text{ kgfm} = 11234 \text{ Nm}$ .

Se realizaron tres trazados adicionales para otros radios de curvatura R: 365mm, 730mm, 1500mm, con los  $M_f$  obtenidos se trazó la curva mostrada en la Fig. 4. A mayor  $M_f$  se reduce el radio R, aumentando la deformación.



**Figura 3 – Trazado para relacionar momento flexor aplicado con flexión elástico-plástica de un tubo.**

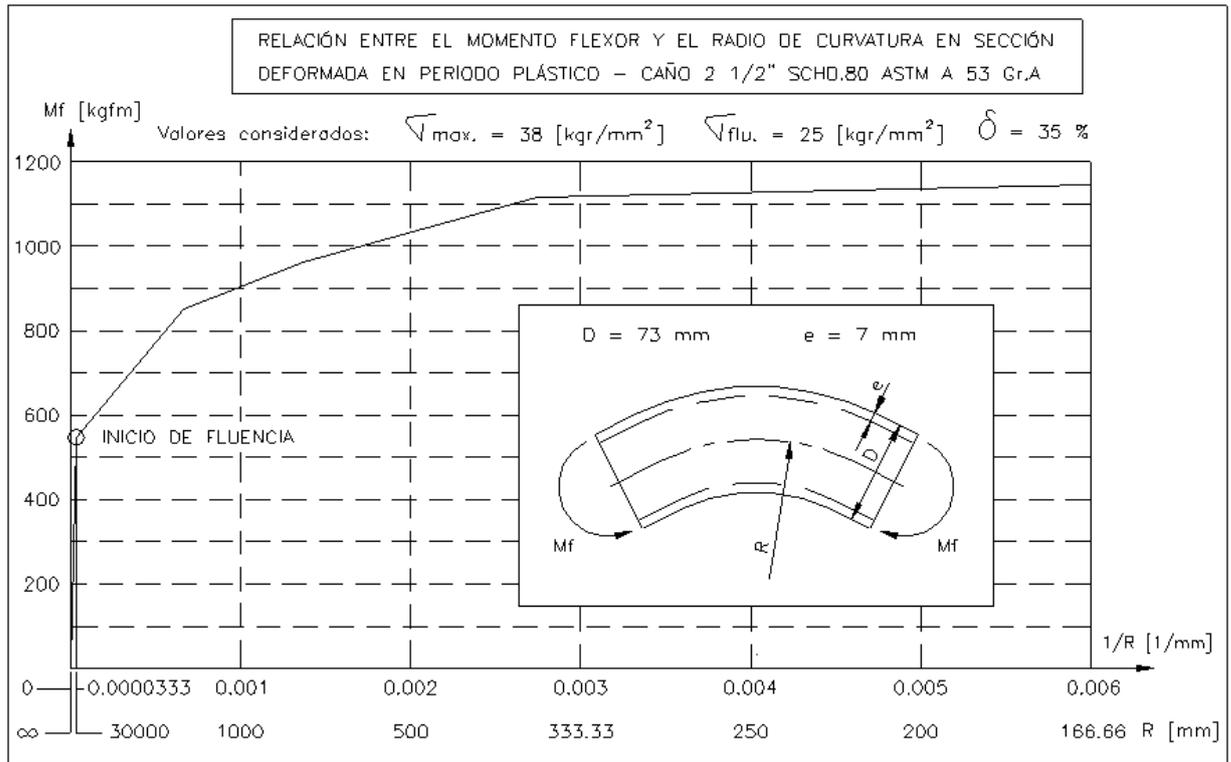


Figura 4 – Momento flexor aplicado y radio de curvatura R en flexión elástico-plástica de tubo Ø73 e=7.

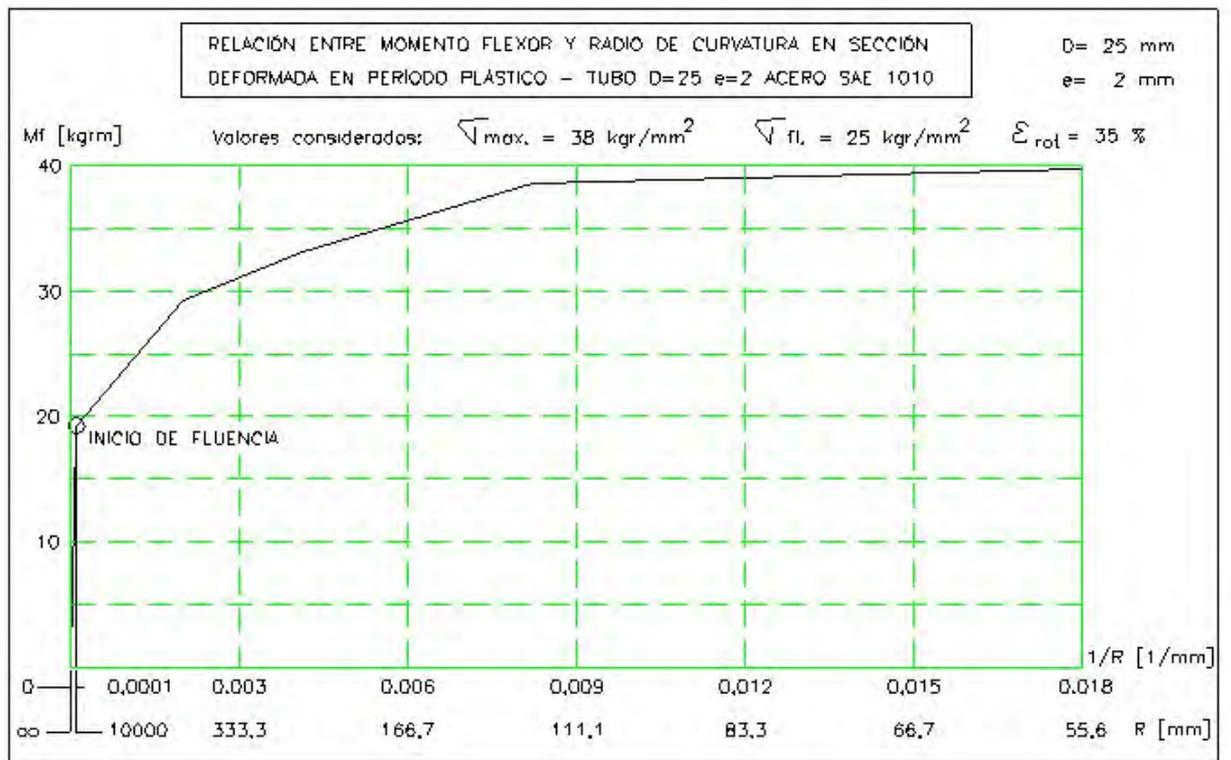


Figura 5 – Momento flexor aplicado y radio de curvatura R en flexión elástico-plástica de tubo Ø25 e=2.



En la Fig. 5 se muestra una curva semejante obtenida para un tubo de diámetro exterior 25mm y espesor 2mm, material acero SAE 1010 (0,1% C), se consideró: Resistencia a la tracción 38 kgf/mm<sup>2</sup>, Tensión de fluencia 25 kgf/mm<sup>2</sup>, Elongación en la fractura 35%, datos del material iguales a los del caso anterior.

Este tubo se utiliza en estructuras contra vuelco de vehículos tales como prototipos de automóviles.

El tubo de la Fig. 4 se utiliza en estructuras contra vuelco de máquinas tales como tractores agrícolas, denominadas ROPS (Roll Over Protective Structure), en [10] se expone ese tema.

En [5-7] se presentan conceptos y datos adicionales del tema deformaciones elásticas y plásticas.

### 3. Cálculo de tensiones y deformaciones en estructuras de protección contra vuelco

En muchos casos las estructuras de protección contra vuelco constituyen sistemas hiperestáticos. Para calcular sus tensiones y deformaciones en el período elástico se pueden aplicar los métodos establecidos, como el método de las fuerzas o el de los desplazamientos. Pero cuando ocurren deformaciones plásticas se deben aplicar otros métodos, como los expuestos en [2, 3]. La Fig. 6 se obtuvo de [2] Sección 8.12 (págs. 233 y 234), donde se da una explicación breve del método del trabajo virtual. En este ejemplo se muestra un pórtico con viga y columnas con la misma sección (esto suele darse en estructuras de protección contra vuelco). El pórtico es estáticamente indeterminado de primer grado. El desarrollo de una articulación plástica lo convertirá en estáticamente determinado, y la formación de una segunda articulación puede crear un mecanismo. Pero podrían ocurrir varios tipos de mecanismos, por ejemplo: la Fig. 6(b) muestra un posible mecanismo de viga, la Fig. 6(c) muestra un posible mecanismo de ladoeo, la Fig. 6(d) muestra un posible mecanismo combinado de viga y ladoeo. La condición crítica es la que dé el menor valor de  $P_n$ .

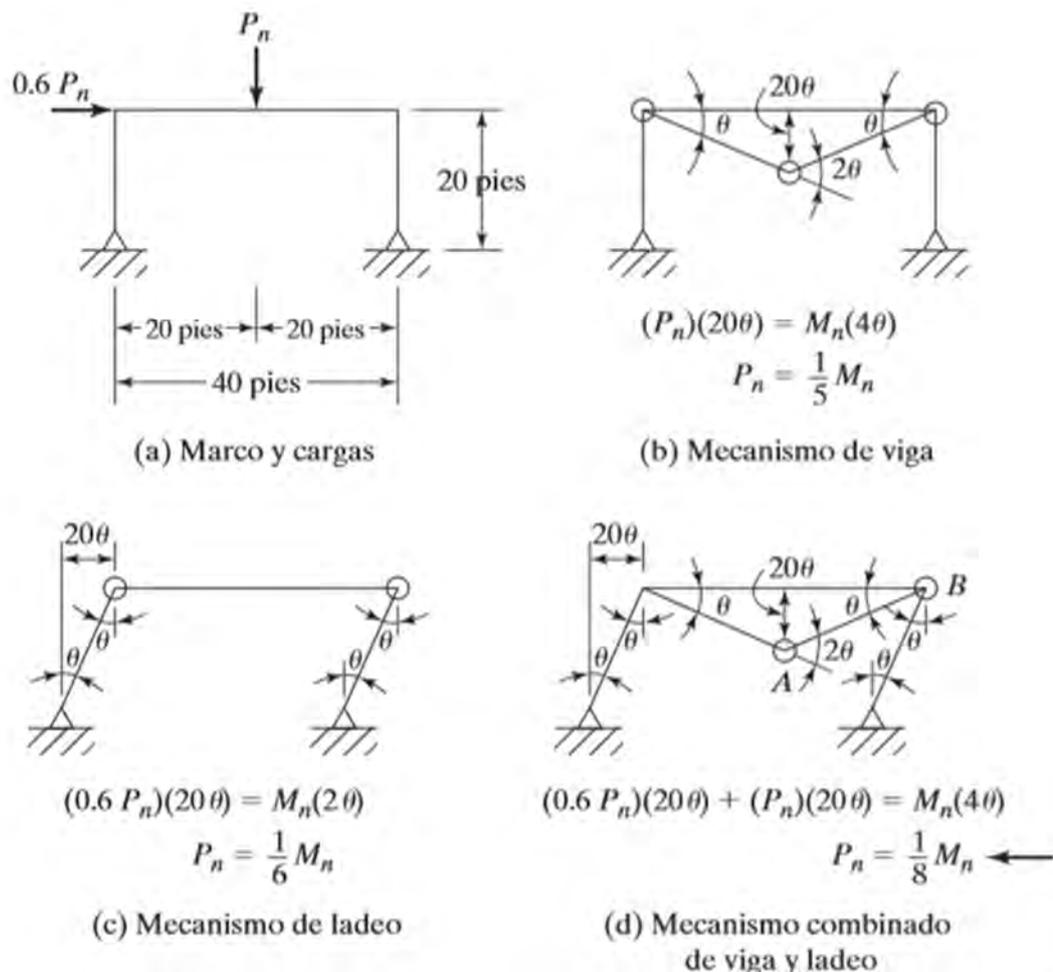


Figura 6 – (a) Ejemplo de pórtico hiperestático; (b,c,d) 3 hipótesis de posibles deformaciones plásticas.



La superposición de efectos no es aplicable en el análisis plástico.

Para cada mecanismo se debe considerar la situación en la que se tenga el menor número posible de articulaciones plásticas que causen el colapso. El valor menor de  $P_n$  ocurre en la Fig. 6(d), en donde se forman dos articulaciones plásticas marcadas A y B.

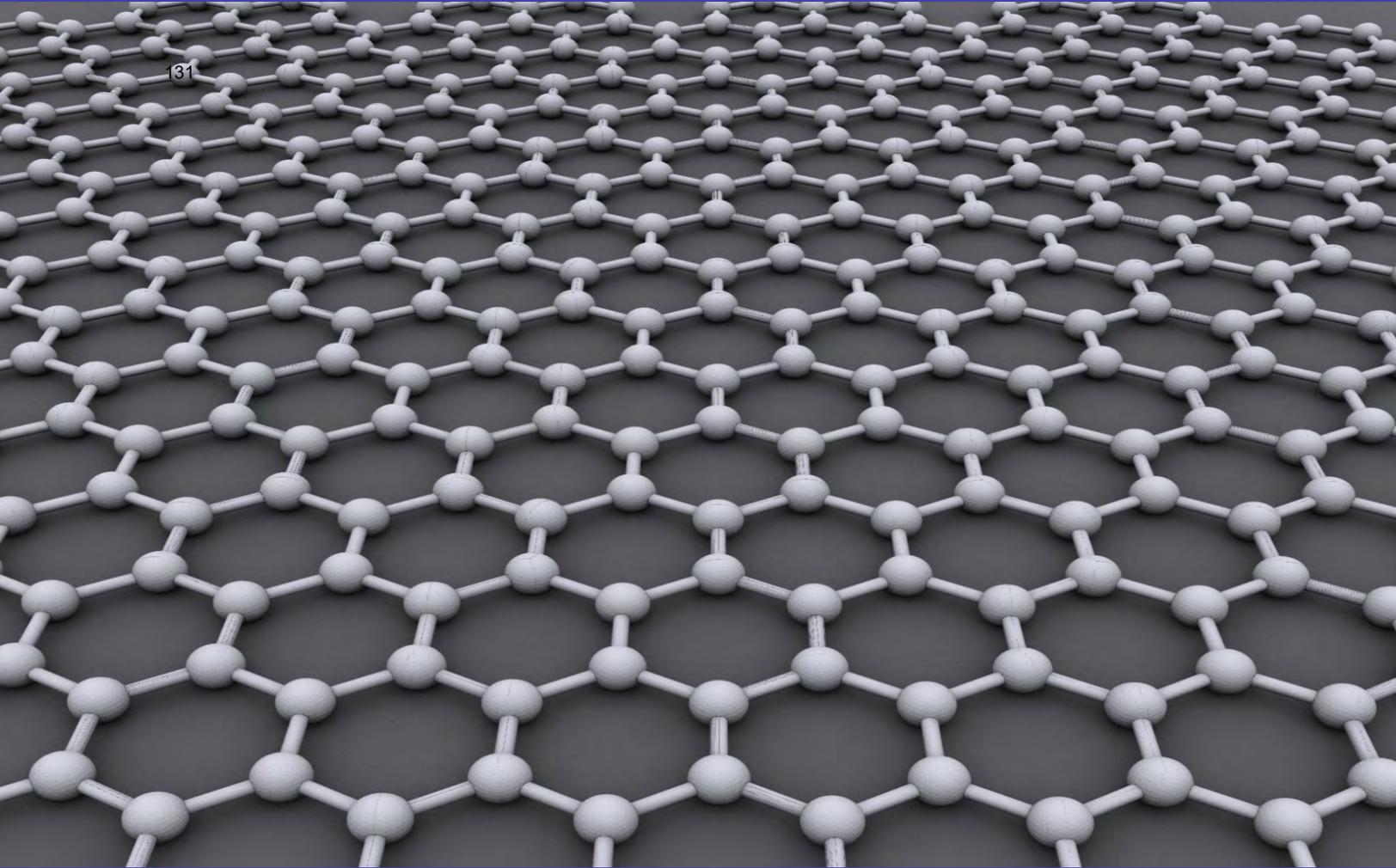
Para dimensionar la sección de una estructura de un vehículo se puede definir un coeficiente de seguridad para calcular el valor de  $P_n$  admisible, y encontrar por iteración la sección correspondiente.

## Agradecimientos

El autor de este trabajo desea agradecer a la Secretaría de Ciencia y Tecnología, al CIDIV y al Departamento de Ingeniería Mecánica de UTN FRGP por el apoyo brindado para llevarlo a cabo.

## Referencias

- [1] U.S. Department of Transportation National Highway Traffic Safety Administration, “Laboratory Test Procedure for FMVSS 216 Roof Crush Resistance”, TP-216-05, USA, (2006).
- [2] McCormac Jack C., “Diseño de Estructuras de Acero Método LRFD”, Segunda Edición, Alfaomega, México, ISBN 970-15-0637-5, (2002).
- [3] McCormac Jack C., “Diseño de Estructuras Metálicas Método ASD”, Cuarta Edición, Alfaomega, México, ISBN 970-15-0222-1, (1999).
- [4] Feodosiev V. I., “Resistencia de Materiales”, Segunda Edición, Editorial MIR, Rusia, sin ISBN, (1980).
- [5] Kachanov L.M., “Fundamentals of the Theory of Plasticity”, First Edition, Editorial MIR, Rusia, sin ISBN, (1974).
- [6] Seely Fred B. y Smith James O., “Curso Superior de Resistencia de Materiales”, Segunda Edición, Editorial Nigar, Argentina, sin ISBN, (1977).
- [7] Boresi Arthur P., Schmidt Richard J. and Sidebottom Omar M., “Advanced Mechanics of Materials”, Fifth Edition, John Wiley & Sons, USA, ISBN 0-471-60009-1, (1993).
- [8] Boyer Howard E., “Atlas of Stress-Strain Curves”, Second printing, ASM International, USA, ISBN 0-87170-240-1, (1990).
- [9] Baumeister Theodore, Avallone Eugene A. y Baumeister III Theodore, “Manual del Ingeniero Mecánico”, Octava Edición, McGraw Hill, México, ISBN 968-451-640-1, (1990).
- [10] Mirassou Horacio M., “Diseño y dimensionamiento de estructuras de protección contra vuelco (ROPS) para tractores agrícolas”, 3<sup>o</sup> Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica CAIM 2012, Buenos Aires Argentina, (2012), E-Book ISBN 978-987-1978-08-3, < <http://www.aim2012.frba.utn.edu.ar/descargas/trabajos/vibraciones.pdf> >.
- [11] < <https://ar.pinterest.com/pin/477311260498941995/> >



# Materiales



# Propiedades Tribológicas de Compuestos de Matriz Epoxi y Disulfuro de Molibdeno. I. Comportamiento en Fricción.

**M. Zanin <sup>a,b</sup>, W. Tuckart <sup>a</sup>, M. Failla <sup>a</sup>, N. Alvarez Villar <sup>b</sup>, N. Urbano Pintos <sup>b</sup>, M. Molina <sup>b</sup>**

<sup>a</sup> Universidad Nacional del Sur, Av. Alem 1253, Bahía Blanca, B8000, Buenos Aires, Argentina

<sup>b</sup> Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo, Paris Paris 532, Haedo, B1706EAH, Argentina

\* Maximiliano Zanin, dirección de correo electrónico: maxzanin@yahoo.com.ar

## ABSTRACT

*In recent decades, polymer matrix composite materials have been increasingly used for high-demand tribological applications. Recently, new polymeric composites with solid lubricant fillers have been developed in order to achieve suitable tribological behavior for critical applications.*

*This work compares the tribological behavior of epoxy coatings with and without molybdenum disulfide particles ( $S_2Mo$ ) as a solid lubricant filler. Test conditions, like sliding contact and load rate, are selected to studying of wheel flange lubrication. Influence of solid lubricant filler is evaluated through changes on wear volume and friction coefficient. Tribological properties were tested in a block-on-ring wear machine, applying variable load-unload cycles.*

*Tribological tests show an improved coating performance when solid lubricant is included. Wear volume, with epoxy  $S_2Mo$  filled coating, is reduced 40%, in comparison with epoxy without solid lubricant filler. However friction coefficient (CoF) shows a strong dependence on cycles loading/unload. CoF remaining invariable at the first load cycles and increasing slowly after following cycles.*

*Wear mechanisms were analyzed evaluating wear surfaces (block and ring), by optical, confocal and electronic microscopy techniques.*

*Chemical and mechanical characterization in materials and coatings, was carried out by microscopy, spectroscopy and microhardness tests.*

**Keywords:** *lubricant composites, solid lubrication, variable loads.*

## RESUMEN

*En las últimas décadas los materiales compuestos de matriz polimérica se han utilizado cada vez más para aplicaciones tribológicas de alta exigencia. Recientemente, se han desarrollado nuevos compuestos poliméricos con la incorporación de partículas lubricantes, a fin de garantizar el comportamiento tribológico adecuado para aplicaciones claves.*

*El presente trabajo aborda el estudio comparativo y comportamiento tribológico de recubrimientos epoxi puro y con partículas de disulfuro de molibdeno ( $S_2Mo$ ), en contacto deslizante, de baja velocidad y cargas variables, para aplicaciones de tiempos reducidos, como evaluación de lubricantes para lubricación sólidas de pestañas de ruedas ferroviarias. El propósito es aportar información sobre la acción de las partículas lubricantes y la matriz epoxi afectan al desgaste y coeficiente de fricción (CoF) en este sistema mecánico. Las propiedades tribológicas se evaluaron en ensayos tipo block on ring, de cargas variables, baja velocidad y cambio de sentido, con el objetivo de determinar las condiciones tribológicas en las sollicitaciones más críticas.*

*Los resultados de los ensayos tribológicos realizados sobre los recubrimientos muestran comportamientos diferentes para cada recubrimiento. El desgaste para los recubrimientos epoxi con  $S_2Mo$  se reduce un 40%, respecto de la resina epoxi sin lubricantes, mientras que el comportamiento en fricción muestra una dependencia con cada ciclo de carga y descarga. Con incrementos de carga en los ciclos iniciales el CoF permanece estable, mientras que el CoF promedio se incrementa paulatinamente en los ciclos sucesivos.*

*Los mecanismos de desgaste se analizaron a partir de la evaluación de las superficies de desgaste, tanto en el recubrimiento del bloque como del anillo, por medio de técnicas de microscopía óptica convencional, confocal y electrónica. La caracterización química y mecánica, tanto de los materiales utilizados como de los recubrimientos elaborados, se realizó por medio de diferentes técnicas de microscopía, de espectroscopía y ensayos de dureza.*

**Palabras Clave:** *compuestos lubricantes, lubricación sólida, cargas variables.*

## 1. Introducción



Es sabido que el transporte por ferrocarril compite con otros medios de transporte debido a la búsqueda de una mayor eficiencia energética, menor contaminación y la reducción de la congestión en las grandes ciudades, pero principalmente debido a los costos de mantenimiento e inversiones para nuevas rutas y caminos. Es por este motivo por el cual se amplían los estudios, investigaciones y análisis sobre componentes ferroviarios. El proceso de desgaste influye radicalmente en el ciclo de vida de los componentes ferroviarios, específicamente en el sistema rueda-riel, determinando los intervalos de mantenimiento del material rodante y de la vía férrea [1].

El fenómeno de contacto rueda-riel es seguramente el más característico en la investigación ferroviaria, ya que posee la influencia decisiva en la dinámica de este medio de transporte. El estudio sobre esta zona no solo se realiza para evaluar el desgaste, sino que aporta valiosa información sobre las condiciones de contacto [2]. La naturaleza de este contacto está influenciada por las fuerzas actuantes, la cinemática del vehículo y la geometría del contacto, por lo que el desgaste más pronunciado se encuentra en las curvas, desvíos y empalmes, donde a menudo se requiere de lubricación sólida. El análisis más crítico se centra en el contacto entre las pestañas de las ruedas del material rodante y los rieles, donde la fricción y el desgaste deben ser analizados cuidadosamente.

La reducción de la fricción en el inevitable contacto diario de la pestaña de las ruedas contra el riel, disminuye el desgaste del conjunto rueda-riel, el ruido o chirrido característico, reduce el consumo de energía o combustible y evita la posibilidad de descarrilamiento por montado sobre riel [3]. El control del desgaste y la fricción en la interfaz rueda-riel dependerá de la calidad y eficacia del lubricante, además del método de aplicación. En la actualidad, la lubricación sólida de la pestaña de ruedas de ferrocarril está tomando mayor relevancia por su aplicación controlada, menor control en mantenimiento y por su bajo nivel de contaminación [4].

Los lubricantes sólidos poseen una amplia aplicación en condiciones extremas, tales como la elevada presión de contacto, radiación, vacío, elevadas o bajas temperaturas, comunes en industria automotriz, petrolera, aeronáutica, aeroespacial y ferroviaria [3]. Por otra parte, las condiciones de servicio como la presión, velocidad de deslizamiento, temperatura y el ambiente, son factores determinantes al momento de considerar la aplicación, reposición y rentabilidad, la cual está relacionada directamente con la frecuencia de reposición.

En las últimas décadas se han extendido notablemente las investigaciones en materiales compuestos de matriz polimérica, con partículas o fibras para ser utilizados como lubricación sólida en aplicaciones tribológicas de alta exigencia. Entre los reforzantes sólidos lubricantes más citados en la literatura del tema, se mencionan el disulfuro de Molibdeno ( $S_2Mo$ ) y el Grafito, aunque se extienden reportes de las más variadas combinaciones con el objetivo de buscar las propicias condiciones para controlar la fricción y el desgaste en escenarios donde los lubricantes convencionales no lo permiten [5-8]. Existe una tendencia a la utilización de materiales compuestos que consisten en una matriz polimérica portante de partículas reforzantes o lubricantes, incluso mezclas de ellos con el objetivo de lograr efectos sinérgicos [9, 10]. Se ha reportado la reducción de la fricción y el desgaste cuando se utilizan lubricantes sólidos como  $S_2Mo$  en diferentes matrices poliméricas [11].

Entre la amplia variedad de investigaciones sobre materiales compuestos de matriz polimérica, se reporta numerosa investigación sobre la mejora de la resistencia al desgaste de materiales compuestos de matriz epoxi debido a la facilidad de manejo. Varios autores sugieren, que este polímero con la combinación adecuada de lubricantes sólidos y diferentes reforzantes, reducen la tasa específica de desgaste y mejoran la distribución de un film de transferencia a la contraparte, optimizando las condiciones de fricción [12, 13].

Los lubricantes sólidos de uso más extendido son los que consisten en sustancias de estructura laminar, provista de planos compactos con mayor probabilidad de deslizamientos en los planos y direcciones compactas. Este tipo de lubricantes son anisotrópicos, con uniones secundarias débiles entre determinados planos cristalinos, que fundamentan sus característicos bajos coeficientes de fricción y de los cuales resultan sus propiedades lubricantes. Específicamente el disulfuro de Molibdeno ( $S_2Mo$ ), posee una estructura de capas hexagonales en donde la unión de los átomos en cada capa es fuerte (del tipo iónica o covalente) y las uniones moleculares entre las capas son débiles (del tipo Van der Waals). Esta alineación de las capas en la dirección del movimiento relativo, provee una baja fricción, debido a la fácil ruptura de los enlaces secundarios y la conservación de los enlaces primarios que forman la capa. Las características individuales del  $S_2Mo$  han sido reportadas por Winner [14] y Lansdown [15].

Por otra parte, cabe destacar que, durante el deslizamiento de un polímero sobre una contraparte metálica, se visualiza la transferencia de un film polimérico, el cual se basa en el corte de las uniones débiles de los polímeros. La formación de este tribofilm dependerá de factores que afecten a su formación, estabilidad y espesor. Las variables de cada tipo polímero como sus características, tales como reactividad, ramificaciones, peso molecular, tacticidad, temperatura de transición vítrea, grado de cristalinidad afectarán a la formación del tribofilm. Otros factores a considerar son la dureza y topografía de las superficies en contacto [15].

Si la película transferida se forma en la contraparte en las primeras etapas y permanece estable, firmemente adherida, el polímero tendrá una baja pérdida de masa (desgaste) y un descenso del coeficiente de fricción (CoF). Si durante el deslizamiento este film no queda adherido a la contraparte, darán lugar a una variación del CoF y mayor desgaste [16].



Los compuestos de matriz polimérica no son una excepción a la formación de un tribofilm a la contraparte en contacto. En este tipo de materiales se ha demostrado que la continuidad, espesor y adherencia de este film está influenciado por los reforzantes, sean partículas o fibras, y características de la contraparte. En el caso de estar compuesto por partículas lubricantes, el tribofilm puede retener o redistribuir a las partículas lubricantes [17, 18]

De acuerdo a lo planteado, la evaluación del comportamiento de compuestos de matriz epoxi con lubricantes sólidos, resulta ser prometedora para comprender la acción lubricante en la zona de contacto interior de la pestaña de una rueda ferroviaria contra el riel. Actualmente existe un conocimiento incompleto sobre el comportamiento tribológico en condiciones de altas exigencias, en recubrimientos de materiales compuestos de matriz epoxi, específicamente reforzados con  $S_2Mo$ , los cuales proponen ser competentes para las aplicaciones propuestas en este problema de investigación.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1. Preparación de las probetas

Los recubrimientos compuestos lubricantes se elaboraron con resina epoxi comercial puro con 6% en peso de  $S_2Mo$ , en base a la literatura [19, 20]. Se seleccionó una resina epoxi comercial DOW D.E.R.<sup>TM</sup> 331<sup>TM</sup>, curada por un endurecedor poliamínico en una relación 100:50 en peso. La secuencia de elaboración consta de mezclar por 45 minutos la resina con las partículas reforzantes, ambas previamente pesadas, y luego agregar el endurecedor. El curado de las resinas de los recubrimientos se realizó en un horno eléctrico con controlador durante 200 minutos a  $80 \pm 10$  °C.

Los recubrimientos se caracterizaron por espesor, dureza y distribución de partículas. Los espesores de los recubrimientos se controlaron con un medidor de espesores inductivo marca Fischer Dualscope reportando valores entre 30 y 55  $\mu m$  de espesor. Mediante técnicas de microscopía óptica se demostró una distribución uniforme de partículas.

La caracterización de los recubrimientos se complementó con ensayos de microdureza, con un microdurómetro Vickers, marca Future Tech, modelo FM-300, utilizando una carga de 5 g con tiempos de aplicación de 15 s. Los resultados se obtuvieron como promedio de 10 mediciones para disminuir la dispersión de resultados. Se registraron valores de  $7 \pm 2$  Hv indistintamente de la composición. Cabe aclarar que la dureza en polímeros y materiales compuestos de matriz polimérica posee dependencia con la carga aplicada, la geometría del penetrador y el tiempo de permanencia de carga, como también con la temperatura y cristalinidad [21]. Por otra parte, no se observó influencia del espesor del recubrimiento.

### 2.2.- Ensayo Tribológico

La evaluación tribológica se realizó en ensayos bloque sobre anillo (block on ring), en condiciones de deslizamiento puro, a bajas velocidades y cargas variables, con cambio de sentidos de deslizamiento. El bloque, donde está aplicado el recubrimiento, es fijo mientras que la probeta anillo es la deslizante, como fue utilizado por Zabala [22].

Este tipo de configuración está basado la norma ASTM G77, como se indicada esquemáticamente en la Figura 1. Estos ensayos presentan características similares en la elevación de presiones en el contacto rueda-riel en curvas y desvíos ferroviarios, pudiendo ser un aporte sustancial al análisis de la conservación y distribución de lubricante sólido en este tipo de dispositivos, como en el comportamiento en fricción. La geometría de contacto propuesta para los ensayos tribológicos es compatible con las condiciones de contacto rueda-riel evaluadas en transporte ferroviario, reportadas por Olofsson y Lewis [3]. El objetivo es simular las condiciones más críticas en una desaceleración hasta la detención total del material rodante en una curva y posterior aceleración en sentido contrario.

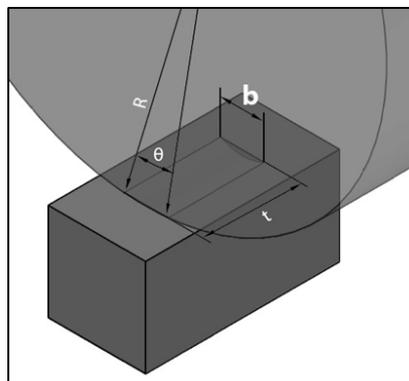


Figura 1 - Esquema de la zona de contacto en la configuración tipo block on ring.



Cada ensayo consta de 4 ciclos y, cada ciclo completo comprende una etapa de aumento y una etapa de disminución de la carga. Los ensayos fueron efectuados bajo condiciones ambientales de laboratorio de aproximadamente 25 °C de temperatura y 50 % de humedad relativa. El volumen de desgaste se estima a partir de la escara de desgaste según norma ASTM G77.

La velocidad de rotación, la carga aplicada y duración, fueron seleccionadas a partir de lo reportado por Lewis y Olofsson [23, 24]. De las condiciones variables de presiones y velocidades en el contacto rueda-riel, se estableció una velocidad tangencial de deslizamiento de ~30 mm/s (0,1 km/h), con incremento y disminución de la presión de contacto.

Durante en desarrollo de los ensayos realizados la carga se incrementa linealmente, hasta alcanzar la máxima carga (~680 kgf). Luego se procedió a realizar el ensayo en sentido contrario, alternando la rampa de carga desde el valor máximo al mínimo (precarga) con la misma velocidad de variación que se utilizó para la etapa de carga. Por lo tanto, cada ciclo de ensayo consta de una etapa de deslizamiento puro en un sentido de giro, con cargas incrementales en un período de 14 s y una etapa de deslizamiento puro en sentido contrario, con descenso de la carga durante el mismo tiempo. Esta operación se repitió 4 veces en cada ensayo.

Inicialmente, la condición de contacto en este tipo de ensayos es no conforme. En las sucesivas secuencias de ensayo y como producto de la generación de la huella de desgaste, la condición evoluciona a una condición de contacto conforme, por lo que cambiarán las condiciones de presión de contacto. Esto promueve a informar la evolución de la carga aplicada ya que no se puede determinar exactamente la evolución de la presión, a medida que se modifica la superficie de contacto.

Además, durante el ensayo se adquirieron los datos de la carga aplicada y de las fuerzas de fricción lo que permitió establecer la evolución del CoF en tiempo real.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Comportamiento en desgaste

En la Figura 2 se muestran los resultados de desgaste en función del espesor de los recubrimientos de epoxi sin carga de lubricante (EP0) y para las composiciones con 6% en peso de S<sub>2</sub>Mo (EP6M). Los resultados de desgaste de los recubrimientos de cada composición son presentados en función de los espesores, los cuales no evidencian influencia sobre el desgaste.

En primer lugar, comparativamente con los recubrimientos EP0, se observa con el agregado de un lubricante sólido particulado, una reducción del desgaste en términos de material desprendido. Con los recubrimientos EP6M se registra una reducción del ~56% del volumen desgastado respecto del recubrimiento EP0. Cabe destacar que, la considerable dispersión observada en los recubrimientos EP0 se debe a un súbito desgaste abrasivo debido a la débil acción lubricante del epoxi.

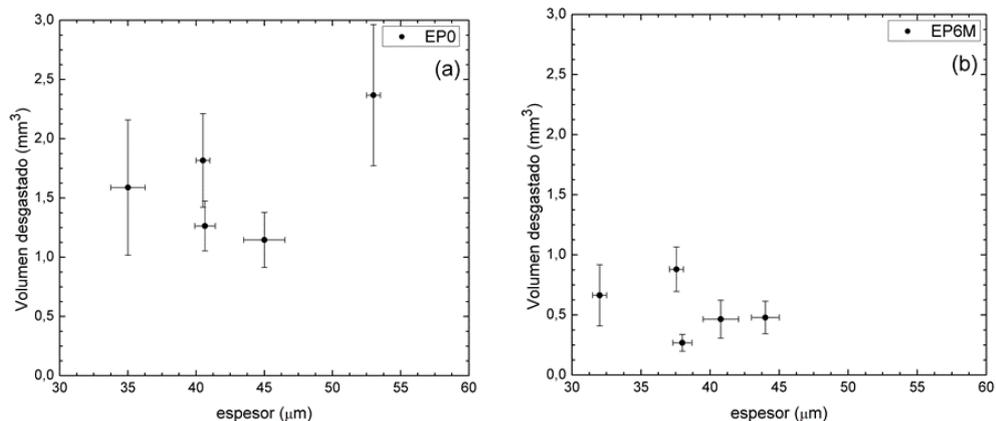


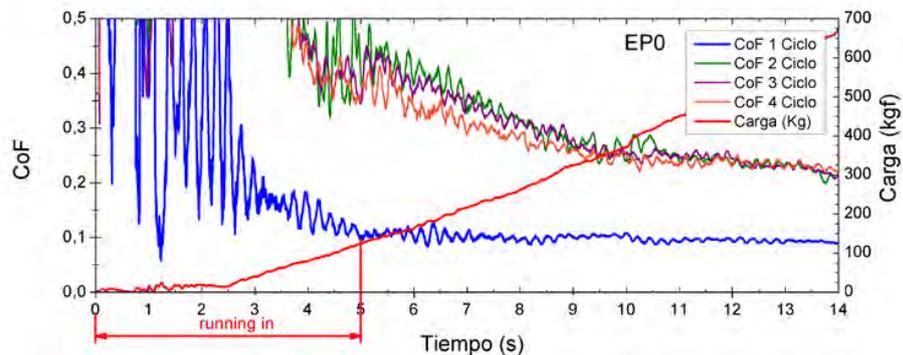
Figura 2 - Volumen desgastado en función del espesor para distintas composiciones; (a) Resina I puro (EP0), (b) Resina I con 6% S<sub>2</sub>Mo (EP6M).

#### 3.2. Comportamiento en fricción

El comportamiento en fricción fue analizado en función del tiempo para cada ciclo. Las etapas de aumento de carga evidenciaron diferencias características en el comportamiento en fricción dependiente del ciclo y la composición del recubrimiento. En cambio, el comportamiento en las etapas de descarga reveló patrones similares.



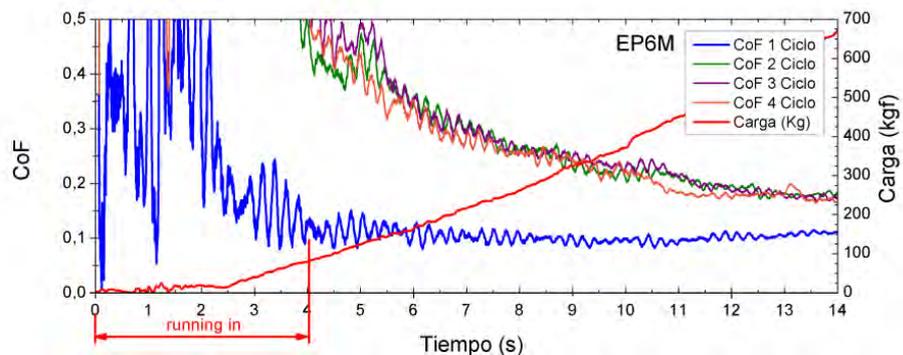
La variación del CoF se analizó en las etapas de aumento de carga de los cuatro ciclos. Correspondiente a los ensayos con EP0, en la Figura 3 se observa que durante el rodaje inicial (1<sup>o</sup> etapa de carga), el desempeño de estos recubrimientos sin partículas lubricantes, muestra un período de running-in de 5 s, determinado por una estabilización del coeficiente de fricción en 0,1 incluso con el aumento de la carga. En las siguientes etapas de carga se observa un descenso del CoF posterior al running-in, pero no se registra una estabilización a medida que aumenta la carga. A partir del 2<sup>o</sup> ciclo, el CoF mínimo registrado es 0,22. La baja fricción en el período inicial puede atribuirse a la formación de un film de transferencia estable de la resina epoxi. Este tribofilm se mantiene con el aumento de la carga, aunque finalmente se desprende hacia el exterior de la zona de contacto en los ciclos siguientes, provocando un aumento de la fricción.



**Figura 3 - Representación de la variación del coeficiente de fricción en función del tiempo para los ciclos de carga en recubrimientos EP0**

La Figura 4 representa la variación del CoF de los ensayos de los recubrimientos EP6M (6% en peso S<sub>2</sub>Mo). Durante el rodaje inicial se observa un período de running-in de 4 s determinado por una estabilización del CoF en 0,1. En todos los ensayos correspondientes a esta composición y en las siguientes etapas de carga, se manifiesta una tendencia a la estabilización de la fricción aproximadamente a los 10 segundos, registrando valores promedio de CoF entre 0,17 y 0,21. Comparativamente con el recubrimiento EP0, se observan una reducción de ~25% del coeficiente de fricción en la carga máxima.

En lo que respecta los ciclos de descarga, se observa un aumento del CoF y un crecimiento abrupto en los últimos segundos, como se indica en la Figura 5. Este comportamiento se repite en todos los ensayos. En los sucesivos ciclos se registran incrementos del CoF los cuales comienzan con el valor mínimo con el que había finalizado el ciclo de carga anterior. Se registra también que el período de CoF estable (o de crecimiento estable) es cada vez más corto en las etapas siguientes, comenzando el crecimiento abrupto de la fricción en menor tiempo. La reducción de la carga y el cambio de sentido de deslizamiento promueven a una evidente pérdida del film de transferencia.



**Figura 4 - Representación de la variación del coeficiente de fricción en función del tiempo para los ciclos de carga en recubrimientos EP6M**

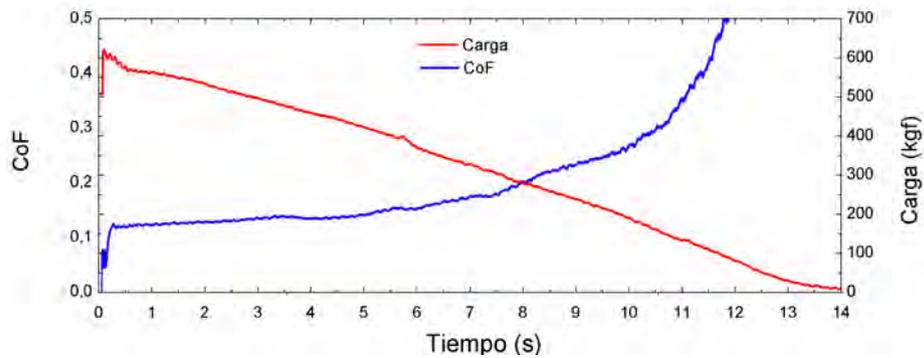


Figura 5 - Variación de la fricción (CoF) en el tiempo en una etapa típica de descarga.

### 3.3. Film de transferencia

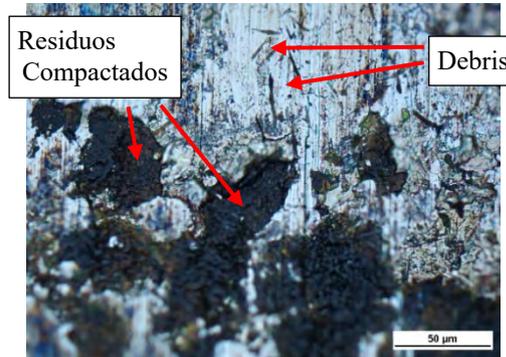
Durante los ciclos iniciales del ensayo se registró un elevado desgaste provocado por las asperezas del disco, que deriva en la formación de grandes islas de film de transferencia no homogéneo, el cual se distingue durante todo el ensayo. Estas islas son removidas en las sucesivas pasadas. El material desprendido es expulsado hacia los extremos de la huella de desgaste con la posibilidad de adherirse nuevamente al disco en cada ciclo. Además, es esperable en los ciclos posteriores, que el compuesto prácticamente se haya removido de la zona de contacto casi en su totalidad.

En la Figura 6 se observa una imagen tridimensional del film transferido al anillo correspondiente al recubrimiento EP6M, presenta características de material “untado” uniforme, donde se observan desprendimientos de material fragmentado en los límites de las islas de material transferido.

Parte del material desprendido se compacta formando fragmentos adheridos o islas que se interponen entre el bloque y el anillo, protegiendo las interfaces del tribosistema, con una eventual reducción del desgaste y fricción. En la Figura 7, se observan material desprendido y compactado, observables típicamente en los extremos de la huella de desgaste. Los residuos compactados forman una capa protectora que distribuye el S<sub>2</sub>Mo en la interfase de contacto. De otro modo son arrastrados formando debris con forma de filamentos.



Figura 6 - Topografía tridimensional de una sección del film transferido, obtenida por stacking confocal (100×).



**Figura 7- Superficie desgastada con material desprendido compactado y con forma de filamentos**

#### 4. Discusión

Cabe destacar que este tipo de ensayos, aplicado a problemas de desgaste se realiza a cargas variables durante períodos cortos de tiempo, donde hay relativamente pocos antecedentes y es un campo abierto de investigación.

Las respuestas tribológicas de los materiales compuestos de matriz polimérica dependerán en gran parte de las propiedades mecánicas de las partículas. Las partículas duras y resistentes aportan resistencia al compuesto, pero promueven eventualmente mecanismos de desgaste abrasivo, mientras que las partículas lubricantes o blandas contribuyen a la formación de un film de transferencia en la contraparte el cual resulta en ocasiones, en un menor desgaste y en baja fricción [25]. La reducción de la fricción y el desgaste cuando se utilizan que lubricantes sólidos como  $S_2Mo$  en una matriz epoxi fue estudiado por Chang et al [26] y Kumar [27].

Por otra parte, diversos trabajos sugieren que el film de transferencia proporciona protección de la superficie de un polímero respecto de las asperezas de un metal [28, 29]. Una película de transferencia contribuye a reducir la fricción entre las partes en contacto y de las características de esta dependerán el comportamiento tribológico, pero se debe asegurar cierta rugosidad para lograr un film de transferencia [30, 31].

#### 5. Conclusiones

Los ensayos de desgaste y fricción como el análisis superficial, film de transferencia y partículas permite elaborar las siguientes conclusiones:

- En lo que respecta al desgaste, es evidente que el agregado de lubricantes sólidos utilizados mejora la resistencia al desgaste. La utilización de  $S_2Mo$  generó una reducción del desgaste del 56% en términos de material desprendido.
- En lo referido a la fricción, se observó una reducción del período de running in cuando se utilizan compuestos con  $S_2Mo$  en las primeras etapas de deslizamiento con incremento de la carga.
- El análisis superficial relevó mecanismos de desgaste abrasivo en todos los recubrimientos en los cuales no se utilizó ningún aditivo lubricante, mientras que el mecanismo de desgaste en los recubrimientos compuestos evidenció un mecanismo de desgaste combinado de adhesivo a abrasivo, favorecido por un film de transferencia más estable en los sucesivos ciclos.

#### Referencias

- [1] Grassie S. L., “Maintenance of the wheel-rail interface”, Wheel-rail Interface Handbook, O. U. Lewis R., Ed., Cambridge, CRC Press, 576-606, (2009).
- [2] Turney H., “A future challenge to wheel/rail interaction analysis and design: Predicting worn shapes and resulting damage modes”, Wear; 265 (9-10), 1259-1265, (2008).
- [3] Olofsson U. y Lewis R., “Tribology of the Wheel-Rail contact”, Handbook of Railway Vehicle Dynamics, Boca Raton, Taylor & Francis Group, 121-141, (2006).
- [4] Wong K., Lu X., Cotter J., Eadie D., Wong P. y Mitchell K., “Surface and friction characterization of  $MoS_2$  and  $WS_2$  third body thin films under simulated wheel/rail rolling-sliding contact”, Wear; 264, 526–534, (2008).
- [5] L. Chang, Z. Zhang, C. Breidt y K. Friedrich, “Tribological properties of epoxy nanocomposites I. Enhancement of the wear resistance by nano- $TiO_2$ ” Wear; 258, 141–148, (2005).
- [6] K. Miyoshi, “Solid Lubricants and Coatings for Extreme Environments: State-of-the-Art Survey,” NASA/TM—2007-214668, Cleveland, Ohio, (2007).



- [7] Shaikh M. H., Pawar G. J. y Sidhu J. S., “Tribological Characterization and Morphological Study of Epoxy Composites filled with WS2 under Dry Sliding”, *International Journal of Science and Research (IJSR)*; 2 (6), 462-465, (2013).
- [8] Abdelbary A., “Wear of Polymers and Composites”, Cambridge, UK: Woodhead Publishing, (2014).
- [9] Sliney H. E., “Solid Lubricants”, de *ASM Metals Handbook - Friction, Lubrication, and Wear Technology - Vol. 18*, Ohio, EEUU, ASM International, 193-218 (1992).
- [10] Friedrich K., “Polymer composites for tribological applications”, *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 1 (1), 3-39, (2018).
- [11] Prajapati A., Omrani E., Menezes P.L. y Rohatgi P.K., “Self-Lubricating Polymer Composites”, de *Self-Lubricating Composites*, Berlin, Springer, 75-104, (2018).
- [12] Bahadur y S y Gong D., “The action of fillers in the modification on the tribological behavior of polymers”, *Wear*; 158, 41-59, (1992).
- [13] Chang L., Zhang Z., Zhang H. y Schlarb A., “On the sliding wear of nanoparticle filled polyamide 66 composites”, *Composites Science and Technology*; 66, 3188–3198, (2006).
- [14] Chang L., Zhang Z., Ye L. y Friedrich K., “Tribological properties of epoxy nanocomposites III. Characteristics of transfer films”, *Wear*; 262, 699-706, (2007).
- [15] Winer W., “Molybdenum disulfide as a lubricant: a review of the fundamental knowledge”, *Wear*; 10, 422-452, (1967).
- [16] Bartenev G. y Laverentev U., *Friction and wear of polymers - Tribology Series Vol 6*, Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, (1981).
- [17] I. Hutchings, *Tribology, Friction and Wear of Engineering Materials*, Oxford, United Kingdom: Butterworth-Heinemann, (2017).
- [18] Zhang G. y Schlarb A., “Mechanism of tribological performance improvement in polymer nanocomposite”, de *Optimization of polymer nanocomposite properties*, Weinheim, Alemania, Wiley - VCH, 211-233, (2010).
- [19] Friedrich K., Zhang Z. y Klein P., “Wear of polymer composites”, de *Wear - Materials, Mechanisms and Practice*, Wiley & Sons, 269-290, (2005).
- [20] Friedrich K., Fakirov S. y Zhang Z., *Polymer composites: from nano-to-macro-scale*, New York: Springer, (2005).
- [21] Crawford J. R., “Microhardness testing of plastics.”, *Polymer Testing*; 3, 37-54, (1982).
- [22] Zabala N., “Tesis doctoral - Influencia de la rugosidad, tipo de lubricante y de recubrimiento sobre el desempeño tribológico de la región de sello en uniones roscadas de uso petrolero”, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina, (2015).
- [23] Lewis R. y Olofsson U., “Mapping rail wear regimes and transitions”, *Wear*; 257, 721-729, (2004).
- [24] Lewis S., Lewis R., Evans G. y Buckley-Johnstone L., “Assessment of railway curve lubricant performance using a twin-disc tester”, *Wear*; 314, 205-212, (2014).
- [25] Friedrich K., Zhang Z. y Schlarb A., “Effects of various fillers on the sliding wear of polymer composites”, *Composites Science and Technology*; 65(5-16), 2329-2343, (2005).
- [26] Chang L., Zhang Z., Breidt C. y K. Friedrich, “Tribological properties of epoxy nanocomposites I. Enhancement of the wear resistance by nano-TiO<sub>2</sub>”, *Wear*; 258, 141-148, (2005).
- [27] Kumar V., Sinha S. K. y Agarwal A. K., “Tribological studies of epoxy and its composite coatings on steel in dry and lubricated sliding”, *Tribology - Materials Surfaces & Interfaces*, 9(3), 144-153, (2015).
- [28] Bahadur S., “The development of transfer layers and their role in polymer tribology”, *Wear*; 245, 92-99, (2000).
- [29] Jintang G., “Tribological effects in formation of polymer transfer film”, *Wear*; 245, 100-106, (2000).
- [30] Rhee S. H. y Ludema K. C., “Mechanisms of formation of polymeric transfer films”, *Wear*, 46, 231-240, (1978).
- [31] Nunez E. E. y Polycarpou A.A., “The effect of surface roughness on the transfer of polymer films under unlubricated testing conditions”, *Wear*; 326, 74–83, (2015).



# Modelos Predictivos del Comportamiento a la Fractura de Materiales Compuestos Híbridos Tipo CARALL

**Maximiliano C. Paiva<sup>a</sup>, Juan Carlos Rios<sup>a</sup>, Eduardo P. Asta<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> Universidad Tecnológica Nacional, FRH, GIMF, París 532, Haedo, CP 1706, Argentina

\*Maximiliano C. Paiva, dirección de correo electrónico: paiva.maximiliano@gmail.com

## ABSTRACT

*In the present document it was simulated through a nonlinear elastic model by finites elements (FEM), the fracture toughness behavior in a specimen geometry C(T) of a laminated hybrid composite material of aluminum reinforced with carbon fibers (CARALL), comparing the model with the experimental results of J integral test, following the criteria established in the ASTM E-1820 standard. The comparative analysis of the results of the prediction of the load-displacement curve of the FEM model shows an acceptable and conservative correlation between the predictive model and the results of J integral test.*

*Keywords:* Test specimen C (T), Composite materials, Cohesive zone, FEM model, load-displacement curve

## RESUMEN

*En el presente trabajo se simuló, a través de un modelo elástico no lineal por elementos finitos (FEM), el comportamiento de tenacidad a la fractura en una geometría de probeta C(T) de un material compuesto laminado híbrido de aluminio reforzado con fibras de carbono (CARALL), comparando el modelo con los resultados experimentales de ensayos J, siguiendo los criterios establecidos en la norma ASTM E-1820. El análisis comparativo de los resultados de la predicción de la curva carga- desplazamiento del modelo FEM muestra una aceptable y conservativa correlación entre el modelo predictivo y los resultados de ensayos J.*

*Palabras Clave:* Geometría de probeta C(T), Materiales compuestos, Zona Cohesiva, modelo FEM, Curva carga-desplazamiento

## 1. Introducción

Los materiales compuestos híbridos, laminados fibra-metal, FML (FibernMetal Laminates) [1], consisten en láminas delgadas de aluminio colaminadas en forma alternada con capas de fibra unidireccionales embebidas en una matriz de resina epoxi. En caso de utilizar fibra de carbono, el compuesto se denomina CARALL (CARbon Reinforced ALuminum Laminates). Los compuestos FML se utilizan en la industria aeronáutica por ser materiales livianos, con elevada resistencia a la propagación de fisuras, resistencia al daño acumulado y baja absorción de humedad. Los mismos demuestran, además, un gran potencial de aplicación en la industria naval y de otros vehículos de transporte [2].

Estos materiales compuestos tienen como característica que en ellos la propagación de fisuras tiene lugar mediante el mecanismo de puenteo de fibra (Fiber-Bridging) [3]. Cuando el extremo de una fisura se propaga en forma perpendicular a la fibra, tal propagación se realiza preferentemente a través de las láminas de aluminio, está acompañada por una delaminación controlada, entre las láminas metálicas y la matriz polimérica. Esto causa poco daño en las fibras y trae como consecuencia que las fibras permanezcan mayoritariamente intactas detrás del extremo de la fisura. Este mecanismo es clave para reducir el factor de intensidad de tensiones en el extremo de la fisura, disminuyendo su velocidad de propagación.

En este trabajo se presenta un modelo elástico no lineal de cálculo por elementos finitos (FEM) que desarrolla una predicción del comportamiento de tenacidad a la fractura. Para la simulación de la propagación de la fisura en la probeta de FML se aplicó el modelo con elementos cohesivos que permiten predecir el comportamiento del material durante la propagación de la fisura. Se utilizaron dos tipos diferentes de formulación de elementos cohesivos, para predecir el mecanismo de falla que presentan los materiales compuestos híbridos, en presencia de la propagación de la fisura.

Los resultados obtenidos con los modelos FEM que predicen el avance de la fisura, han sido comparados con los resultados de ensayos de mecánica de la fractura en términos de la *integral J*, de acuerdo con la norma ASTM E-1820, obtenidos con probetas C(T) de material compuesto CARALL, fabricadas a partir de aluminio 6061 T0 y fibras de carbono NCT-301 unidireccionales impregnadas en resina epoxi.



## 2. Material y Método

### 2.1. Material

La probeta de mecánica de la fractura compacta C(T) ensayada corresponde a un laminado para uso experimental el cual se elaboró en placas cuadradas de 120 mm de lado según las secuencias de apilamiento o arreglo representada por medio de la indicación  $m/n$  ( $m = n + 1$ ), siendo  $m$  la cantidad de capas de aluminio y  $n$  la cantidad de capas de fibras impregnadas en resina. En este trabajo se utiliza un arreglo 5/4 (Al-0-Al-90-Al-90-Al-0-Al), siendo 0 y 90 la orientación de la fibra de carbono respecto a la dirección de laminación de la aleación de aluminio.

Se ha utilizado un compuesto FML fabricado con láminas metálicas de aluminio 6061-T0 con fibra de carbono NCT-301 unidireccional, impregnada en resina epoxi. Se utilizó la resina presente en la fibra de carbono en la colaminación entre las capas de fibra unidireccional y aleación de aluminio para fabricar el material compuesto.

En el laboratorio se determinó además la curva tensión- deformación obtenida del ensayo de tracción de probetas correspondientes a un laminado con idénticas características al que se utilizó en la fabricación de la probeta de mecánica de la fractura. En el gráfico de la Fig. 1 se observa la curva constitutiva tensión- deformación del laminado 5/4.

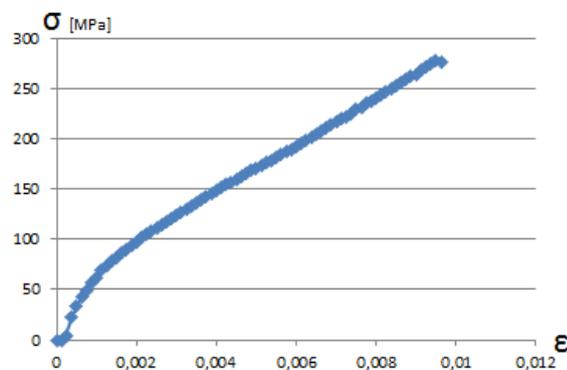


Figura 1-Curva constitutiva tensión deformación

### 2.2. Características del software utilizado ANSYS-Academic

Para el trabajo se utilizó la versión de distribución académica del código ANSYS, denominada ANSYS-Academic. ANSYS aplica el método de los elementos finitos para resolver problemas en diversas áreas de la ingeniería, entre ellos el área estructural. El programa permite resolver el sistema de ecuaciones que surgen de aplicar el método de los elementos finitos al problema que se está analizando [4]. El programa cuenta con herramientas que permiten la creación de una geometría y su posterior mallado, pero en este caso se utilizó una malla previamente definida donde se representa la geometría de una probeta de mecánica de la fractura C(T), indicada como CTS “Compact Test Specimen”. El detalle de la malla y la conectividad, así como la forma de los elementos, se puede observar en la Fig. 2.

Todos los datos asociados a la malla (nodos, conectividad de los elementos, grupos de nodos y de elementos, etc) se pasaron al código APDL (lenguaje de programación de ANSYS) y utilizando un archivo con formato “.txt”. Todos los demás parámetros del modelo de elementos finitos, tales como: materiales, fuerzas, presiones y desplazamientos, se deben incluir en el mismo archivo de texto.

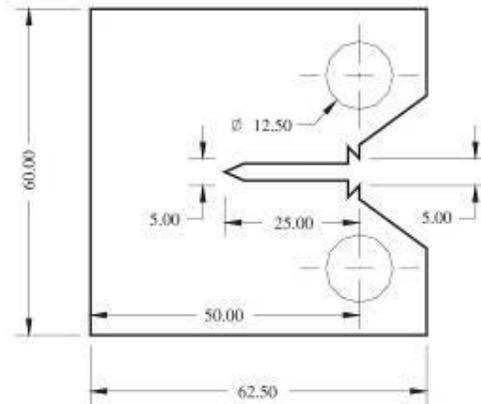


Figura 2- Geometría de la probeta C(T)

### 3. Modelo Numérico

#### 3.1 Probeta CTS “Compact Test Specimen”

Para estimar el valor de carga vs desplazamiento, se realizó un análisis no lineal en un modelo numérico 2D de una probeta de mecánica de la fractura compacta C(T) simulando un estado plano de tensión compatible con el espesor de la probeta ensayada. En la Fig. 3 se detalla las dimensiones de la probeta C(T) modelada, cuyas características geométricas coinciden con las de las probetas ensayadas.

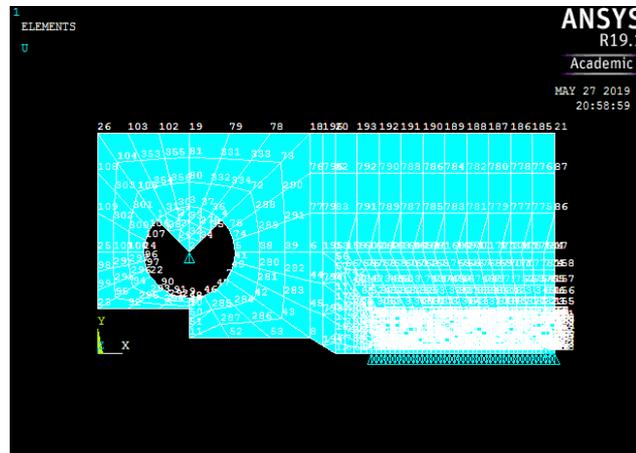


Figura 3-Discretización de la geometría de la probeta C(T)

La geometría se diseñó por simetría, desarrollando solo una mitad de la probeta. Dentro de la geometría se utilizaron dos tipos de elementos PLANE 182 e INTER 202.

PLANE 182 es utilizado para el modelado de estructuras solidas en 2D, este se puede utilizar como elemento plano para: estado plano de tensión, estado plano de deformación o estado plano de deformación generalizado. Este es definido por 3 o 4 nodos, teniendo 2 grados de libertad en cada nodo (traslación en X y traslación en Y).

INTER 202 es un elemento cohesivo que simula la superficie de interfaz y el proceso de delaminación posterior, donde la separación se representa por un desplazamiento creciente entre nodos. Se utiliza como elemento plano para: estado plano de tensión o estado plano de deformación. Este es definido por 4 nodos, teniendo 2 grados de libertad en cada nodo (traslación en X y traslación en Y).

Para el modelo se utilizaron 806 elementos planos de tensión tipo PLANE 182 y 39 elementos cohesivos tipo INTER202 que simulan la zona de delaminación.



### 3.2. Formulación de elementos Cohesivos

Para simular el grado de deformación y el daño acumulado en el extremo de la fisura se utilizó en el modelo numérico una zona de elementos cohesivos próximos a la zona donde se produciría el avance de la fisura. El modelo constitutivo de los elementos cohesivos tiene dos parámetros que caracterizan el proceso de descohesión, tal como se muestra en la Fig. 4:

- La tensión máxima (tensión de superficie del elemento continuo),  $\sigma_{max}$ , también denotada como fuerza cohesiva.
- La separación donde el elemento cohesivo falla,  $\delta_0$

Cuando la componente normal  $\delta_0^N$  alcanza su valor crítico, los elementos continuos inicialmente conectados por los elementos cohesivos, se desconectan lo que significa que el material en este punto ha fallado.

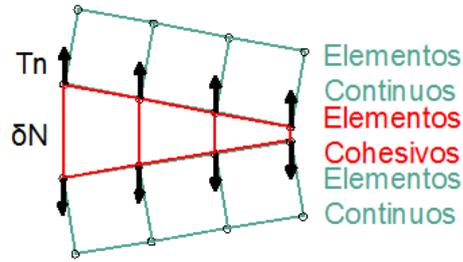


Figura 4-Descripción grafica de elementos cohesivos sometidos a esfuerzo normal

Se utiliza una ecuación constitutiva para relacionar, la tensión  $T$  con el desplazamiento relativo ( $\delta$ ) en la interfaz. La forma de la ley cohesiva está dada por la función  $T(\delta)$ . La tensión máxima establece la resistencia local del material y desempeña un papel crítico en el desarrollo de la deformación plástica del material que se encuentra en el entorno del vértice de la fisura.

El area bajo la curva ( $T(\delta)$ ), representa la energía absorbida por el elemento cohesivo,  $G_0$ , y se define como la energía cohesiva.

El parametro  $G_0$  (Energía total disipada por la fractura), se representa a través de la integral definida en la ec. (1)

$$G_0 = \int_0^{\delta_0} T(\delta) d\delta \quad (1)$$

Si se conoce o presume la forma de la curva ( $T(\delta)$ ), dos parámetros son suficientes para caracterizar la ecuación y permitir el ajuste con valores experimentales.

La energía de fractura  $G_c$  Cuando el material tiene una respuesta lineal elástica se iguala con el trabajo local de separación (el cual queda determinado por la rigidez del material)

El valor de  $G_0$  puede obtenerse de ensayo, ya que coincide bien con la *integral J* en el inicio de la fisura,  $J_i$ .

Cuando el material deforma plásticamente,  $G_c$  se eleva por sobre  $G_0$ , pero sigue siendo energía cohesiva  $G_0$ , se corresponde aproximadamente a la *integral J* en el inicio de la fisura, y puede ser la primera estimación para  $G_0$ .

El parámetro cohesivo puede ser diferente en la dirección normal y la tangencial, pero se define que la energía de separación es igual en ambos modos de falla,  $G_0^N = G_0^T$ . [5]

La necesidad de una ecuación constitutiva apropiada en la formulación del elemento cohesivo es fundamental para una simulación precisa del proceso de fractura. El modelo que representa el comportamiento cohesivo del material y sus parámetros de entrada a menudo se eligen de la forma más simple posible por razones numéricas, en lugar de tener significado físico.

Básicamente, se asume que ( $T(\delta)$ ) es una curva de tensión-desplazamiento con una forma bilineal. Más recientemente se han propuesto diferentes formas del modelo cohesivo, a saber, la forma trapezoidal y las formas exponenciales.

Las ecs. (2) y (3) describen el comportamiento exponencial del elemento cohesivo, que se observa en la Fig. 5

$$Tn = \sigma_{max} \cdot \left(\frac{\Delta n}{\delta n}\right) \cdot e^{1-\Delta n/\delta n} \quad (2)$$

$$Gc = e \cdot \sigma_{max} \cdot \delta n \quad (3)$$



La curva Tensión desplazamiento de la Fig. 5 representa la respuesta de un elemento cohesivo que sigue la ecuación constitutiva de forma exponencial.

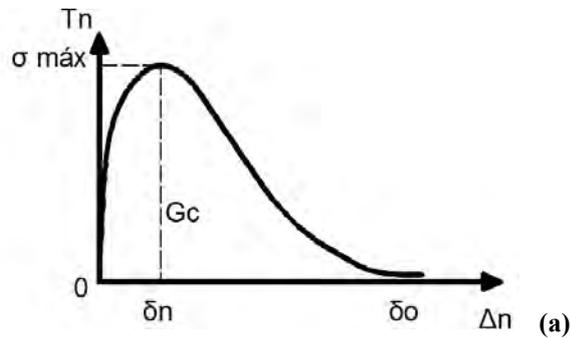


Figura 5-Modelo constitutivo. Elemento Cohesivo Exponencial

Las ecs. (4) y (5) describen el comportamiento bilineal del elemento cohesivo, que se observa en la Fig. 5

$$Tn = \begin{cases} \frac{\sigma_{max}}{\delta n} \cdot \Delta n & \Delta n \leq \delta n \\ \frac{\sigma_{max}}{\delta n - \delta o} \cdot (\Delta n - \delta o) & \Delta n > \delta n \end{cases} \quad (4)$$

$$Gc = e \cdot \sigma_{max} \cdot \frac{\delta o}{2} \quad (5)$$

La curva Tensión desplazamiento de la Fig. 6 representa la respuesta la ecuación constitutiva de forma bilineal propia del elemento cohesivo que responde a las ecs. (4) y (5).

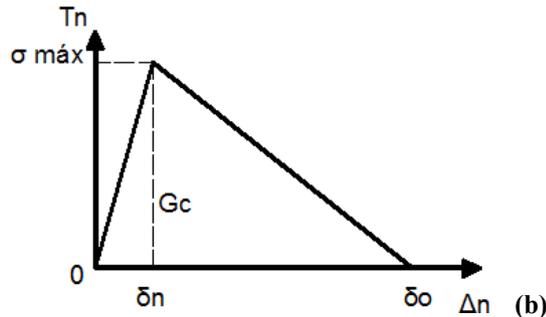


Figura 6- Modelo constitutivo. Elemento Cohesivo Bilineal

### 3.3. Condiciones de Borde

Para simular la simetría de la probeta se aplicaron restricciones de desplazamiento  $UY=0$ , para los nodos inferiores de los elementos cohesivos. Por otro lado se simuló en el punto de aplicación de la carga un camino incremental de desplazamientos equivalente al impuesto por el cabezal móvil del dispositivo de ensayo, para ello se le dio un valor de desplazamiento al Nodo 2.

A partir de dicha condición de contorno, se estimó mediante el modelo numérico el valor del esfuerzo equivalente que produce cada incremento de desplazamiento en el punto de aplicación carga.

Para cada punto de paso incremental del análisis no lineal se determinó el valor del desplazamiento en el nodo que simula el punto donde se monta el elemento de medición de la apertura de la boca de la fisura (COD) por medio de un extensómetro del tipo “clip gauge”, Fig. 7

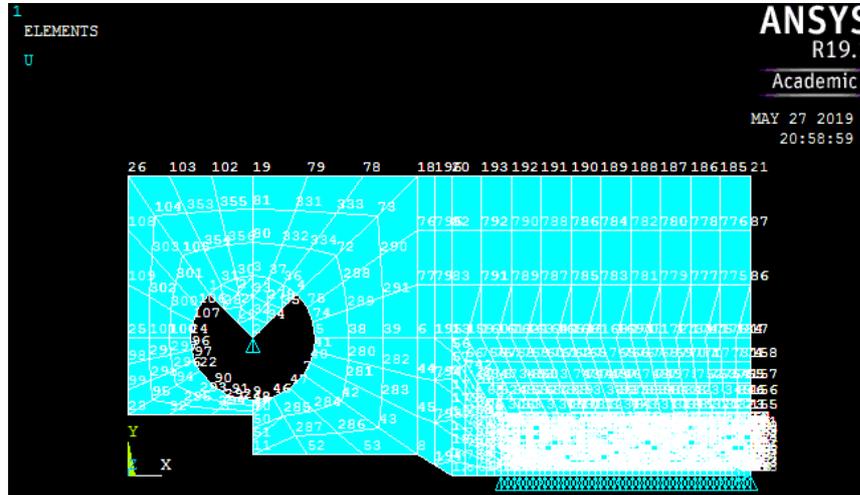


Figura 7-Elementos y condiciones de borde extraídos del modelo en ANSYS

**4. Resultados**

**4.1. Gráficos  $P$  vs.  $V_{II}$**

En los siguientes gráficos se representan los valores de Carga vs desplazamiento de ambos modelos constitutivos frente a los valores obtenidos de ensayo.

**4.1.1. Gráfico con Modelo Exponencial**

En la Fig. 8 se observa el comportamiento del elemento cohesivo exponencial en la proximidad del borde de la fisura, caracterizada por un primer tramo con incremento de carga hasta alcanzar  $\sigma_{max}$ , para luego mantener el campo de tensión con valores próximos a la tensión máxima.

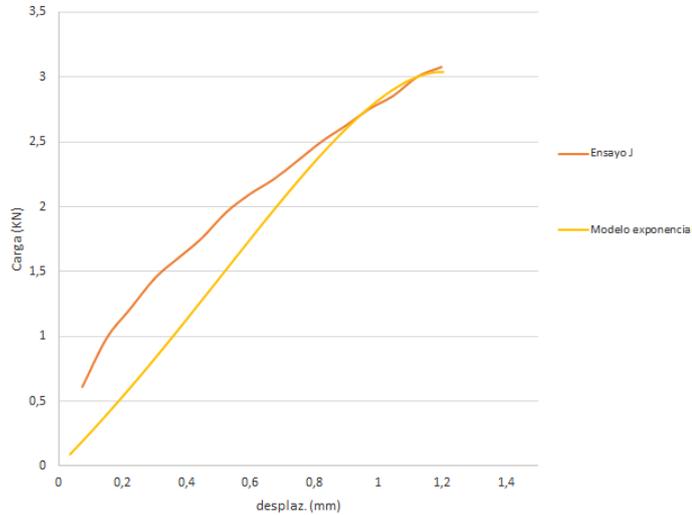
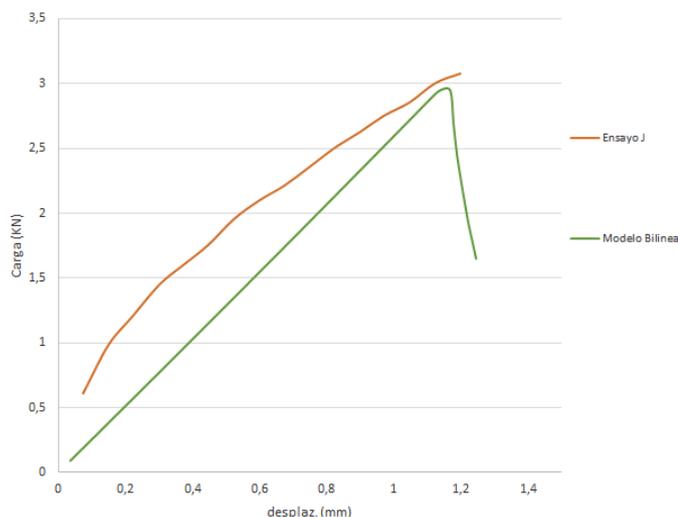


Figura 8- Resultado del modelo exponencial

**4.1.2. Gráfico con Modelo Bilineal**

En la Fig. 9 se observa el comportamiento del elemento cohesivo bilineal en la proximidad del borde de la fisura, caracterizada por un primer tramo con incremento de carga hasta alcanzar  $\sigma_{max}$ , y luego una marcada perdida de carga que acompaña el crecimiento de la fisura.


**Figura 9- Resultado del modelo bilineal**

#### 4.2.1 Ajuste de Curvas

Tomando las curvas obtenidas del ensayo de laboratorio, se ajustaron los parámetros del elemento cohesivo para aproximar las curvas obtenidas del modelo numérico a las de ensayo. Para ello se fueron variando tres parámetros de los elementos cohesivos ( $\sigma_{max}$ ;  $\delta o$ ;  $\delta n$ ), de esta manera, y teniendo en cuenta la lectura de resultados de las diferentes corridas del programa, se fueron aproximando las curvas. En la siguiente tabla se representan los valores de los parámetros utilizados particularmente en las curvas que aproximan los resultados del ensayo, debido a que se aproximó por dos tipos de elementos cohesivos (bilineal y exponencial), en la tabla se muestran ambos casos.

**Tabla 1 – Parámetros de elementos cohesivos**

Tipo de Elemento	Parámetros		
	$\sigma_{max}$ [MPa]	$\delta o$ [mm]	$\delta n$ [mm]
Bilineal	0,45	0,7	0,7
Exponencial	0,2	0,8	0,8

#### 5.1 Conclusiones

Mediante la utilización del software ANSYS en la versión Académica y la interface de ANSYS Classic (APDL) se simuló las condiciones del ensayo *J*, para poder verificar con los valores obtenidos experimentalmente.

De lo obtenido se destaca que utilizando dos tipos de modelado de los elementos cohesivos (exponencial y bilineal) se puede inferir, para ambos casos, que las curvas obtenidas guardan una cierta linealidad entre  $P - V_{II}$ , lo que aleja estos resultados de los obtenidos de ensayo, pero ante el avance de las cargas y de los desplazamientos las curvas se comienzan a aproximar a los valores experimentales, hasta llegar a la carga máxima donde ambas curvas, en este punto, se desarrollan distintas, para el caso del elemento exponencial toma una forma que aproxima o ajusta con la curva experimental y luego decae de forma suave hasta un punto donde el programa no adquiere más datos. De forma contraria, para el caso del modelo bilineal, a partir del punto donde se alcanza la máxima carga la curva decae abruptamente y el programa en este caso sigue tomando valores de carga- desplazamiento, aunque no son de utilidad para el análisis.

Finalmente, se advierte que ambos modelos predictivos presentan resultados conservadores en la primera parte del avance de la fisura frente a los valores de ensayo, pero esta tendencia se invierte al final del análisis donde los resultados son muy próximos a los valores obtenidos de ensayo.



## Referencias

- [1] L B Vogelesang, Development of a new hybrid material (ARALL) for aircraft structure, Delft University of Technology, Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev., 22, (pp 492-496) (1983).
- [2] H Palkowski, G Lange, Creation of tailored high-strength hybrid sandwich structures, Advanced Materials Research, 22, (pp 27-36) (2007).
- [3] C T Lin, P W Kao, Effect of fiber bridging on the fatigue crack propagation in carbon fiber-reinforced aluminum laminates, Materials Science & Engineering A, 190, (pp 65-72) (1995).
- [4] D. Trias, “Fracture Mechanics (Computer lab sessions)”, Universidad de Girona (2012).
- [5] F. Javidrad , M. Mashayekhy, “A Cohesive Zone Model for Crack Growth Simulation in AISI 304 Steel”, Aeronautical University of Science and Technology, Tehran, Iran, (2014)



# Tránsito Vehicular



# Análisis de la implementación de dispositivos de regulación de tránsito en ámbitos urbanos de la ciudad de Santa Fe

*Imaz Fernando<sup>a\*</sup>, Hurani Raúl<sup>b</sup>, Caprio Sofía<sup>c</sup>, Verónica Casas<sup>d</sup>*

<sup>abcd</sup> CETRAM UTN F.R. Santa Fe, Lavaisse 610, Santa Fe (3000), Argentina

\* Fernando Imaz, fimaz@frsf.utn.edu.ar

## ABSTRACT

*The current urbanization in countries like ours represents great challenges for the transportation systems of the growing cities, if these seek to satisfy the access and mobility needs of their inhabitants, providing them with a sustainable, safe and healthy environment. The urban population continues to grow rapidly and to accompanying this expansion, the capacity of their road networks is increased, often at the expense of the safety of most vulnerable road users.*

*One of the measures adopted by local governments to mitigate these situations is the placement of traffic lights or other devices as a measure to control speed and traffic. Traffic lights are considered a useful device for the control and safety of both vehicles and pedestrians. Another measure adopted is the placement of speed reducers, braking bands or "donkey loins" that induce drivers to reduce the speed of their vehicle.*

*Many times the inhabitants of a city request the competent authorities to intervene at intersections by means of letters with photographs, audiovisual material, or signatures in areas where they consider it pertinent. The answers are subjective and often without adequate technical support, which becomes multiple responses to similar situations. The present work proposes to make a screenshot on the diversity of traffic regulation systems existing in the city of Santa Fe.*

*Keywords:* Transit - Regulation - Security - Normative - Infrastructure - Devices

## RESUMEN

*La actual urbanización en países como el nuestro representa grandes desafíos para los sistemas de transporte de las ciudades en crecimiento, si estas pretenden satisfacer las necesidades de acceso y movilidad de sus habitantes, proporcionándoles un entorno sostenible, seguro y sano. La población urbana sigue creciendo rápidamente y para acompañar dicha expansión, se incrementa la capacidad de sus redes viales, a menudo a costa de la seguridad de los usuarios viarios más vulnerables.*

*Una de las medidas que adoptan los gobiernos locales para mitigar estas situaciones es la colocación de semáforos u otros dispositivos como medida de control de la velocidad y del tránsito. Los semáforos son considerados un dispositivo útil para el control y la seguridad, tanto de vehículos como de peatones. Otra medida adoptada es la colocación de reductores de velocidad, bandas de frenado o "lomos de burro" que inducen a los conductores a reducir la velocidad de su vehículo.*

*Muchas veces los habitantes de una ciudad solicitan a las autoridades competentes la intervención en intersecciones por medio de cartas con fotografías, material audiovisual, o registro de firmas en zonas donde ellos lo consideren pertinente. Las respuestas son subjetivas y muchas veces sin el adecuado sustento técnico, lo que deviene en múltiples respuestas ante situaciones similares. El presente trabajo plantea realizar un pantallazo sobre la diversidad de sistemas de regulación del tránsito existentes en la ciudad de Santa Fe.*

*Palabras Clave:* Tránsito – Regulación – Seguridad – Normativa – Infraestructura - Dispositivos

## 1. Introducción

En este trabajo se propone realizar un análisis de la utilización de los diferentes dispositivos de regulación de tránsito, en el ámbito de la ciudad de Santa Fe.

Estos dispositivos son aplicados en algunos casos para solucionar problemas de movilidad en relación a problemáticas distintivas del tránsito urbano como pueden ser las demoras en los tiempos de viaje o la seguridad vial, tanto de conductores



de vehículos, ciclistas o peatones. La falta de criterio unificado para la localización de estos genera problemas adicionales a los de origen y provoca la desconfianza entre los habitantes de la ciudad.

A través del artículo se busca revisar el universo de dispositivos de regulación de tránsito existentes, e intentar definir las condiciones que justifiquen técnicamente su provisión.

La gestión del tránsito ha visto incrementada su importancia en el último tiempo como consecuencia, no solo de las limitaciones económicas que han enfrentado los diferentes países y en consecuencia la preferencia por medidas y proyectos de baja inversión propios de la gestión de tránsito, sino también por consideraciones ambientales y urbanísticas. El empleo de medidas, proyectos o esquemas de gestión de tránsito, tanto a nivel puntual como de áreas dentro de las ciudades, conlleva necesariamente beneficios y costos sociales, siendo entre otros, los costos de inversión de magnitud muy pequeña. La aplicación intuitiva de gestión de tránsito en forma casi artesanal, ha dado paso a formas más racionales y metódicas de abordar los problemas: entre estas destaca el empleo corriente de modelos de simulación de las redes involucradas, a fin de cuantificar las principales externalidades producidas por las diversas alternativas de gestión de tránsito.

Actualmente gran parte la red vial urbana del macrocentro de la ciudad de Santa Fe presenta condiciones de congestión en ciertos horarios del día. Por otra parte, muestra en ciertos sectores soluciones geométricas inconsistentes, como ser arterias que cambian abruptamente de sentido o se encuentran arbitrariamente cortadas. La actual condición de la red presenta además una complejidad de recorridos, así como una distribución de sentidos que genera la sobrecarga de ciertas arterias.

Además, existe un aumento en la movilidad urbana producto de la mayor necesidad de trasladarse de la población y un incremento notable de la tasa de motorización, en particular de ciclomotores, lo que conlleva a serios problemas de tránsito y de seguridad vial

El presente trabajo comienza con la clasificación y caracterización de los distintos sistemas existentes tanto a nivel nacional como internacional. Esta caracterización permite distinguir los aspectos más relevantes de los sistemas, su aplicación y demás detalles operativos.

El siguiente paso consiste en analizar la normativa vigente en materia de tránsito, para lo cual se aborda la Ley Nacional de Tránsito N° 24449 en primer lugar, la Ley Provincial N° 13133, el Decreto N° 1064 del año 2019 y la Ordenanza Municipal N° 10017 entre otras, que ponen de manifiesto una vez más, la visión diferente sobre la problemática en cuestión, según la Jurisdicción que corresponde. El criterio utilizado fue realizar una visión desde lo general (país) hacia lo particular (ciudad) definiendo similitudes y diferencias entre las normas.

Posteriormente se realiza un relevamiento preliminar de los distintos sistemas de regulación de tránsito utilizados dentro de la ciudad de Santa Fe, de forma de analizar la variabilidad e intentar definir patrones de utilización. Para ello se procesa información proporcionada por la Municipalidad de Santa Fe, acompañada por fotografías tomadas en las distintas calles y avenidas de la ciudad.

Finalmente, con toda la información disponible, se elaboran conclusiones y se identifican líneas de trabajo a seguir.

Un aspecto muy importante a resaltar es que la mayor parte de las peticiones de facilidades que se hacen llegar a las autoridades locales son por cuestiones de seguridad vial, lo que tiene asociado peligros para los habitantes. Esta situación hace imperiosa la necesidad de disponer de metodologías que permitan abordar el problema adecuadamente.

## 2. Clasificación y caracterización de los sistemas de regulación de tránsito

Los dispositivos de control de tránsito son señales, marcas, semáforos y otros dispositivos que se colocan sobre o adyacente a las calles, con el fin de prevenir, regular y guiar a los usuarios de las mismas [1]. Los mismos se clasifican en:

- Señales: su función es la organización del tránsito por medio de alertas o información al conductor respecto a situaciones que existen en la vía de circulación o donde se encuentran ubicados.
- Marcas: son rayas, símbolos o letras que se pintan sobre el pavimento y estructuras, dentro o adyacentes a las vías de circulación, así como los objetos que se colocan sobre la superficie de rodamiento con el fin de regular o canalizar el tránsito.
- Semáforos: Son dispositivos eléctricos cuya función es ordenar y regular el tránsito de vehículos y peatones en las calles, mediante luces de colores operadas por una unidad de control. Se clasifican en control de tránsito de vehículos, para pasos peatonales y especiales.
- Inspectores: constituyen la fuerza humana dependiente del gobierno local, que tiene por misión intervenir activamente en el control del cumplimiento de las normas de tránsito, y el ordenamiento del mismo en casos particulares como ser: accidentes, ingresos a escuelas, cruces donde no hay semáforos, etc.
- Obras y dispositivos diversos: son obras que se construyen y/o dispositivos que se colocan dentro de una calle o en sus inmediaciones para protección, encauzamiento y prevención de conductores de vehículos y peatones.



Dentro de esta última clasificación (“Obras y dispositivos diversos”), se distinguen las opciones existentes para el control de exceso de velocidad.

### **Lomos de burro**

Los lomos de burro son cambios en la alineación vertical de la calzada, los cuales obligan a los automotores a disminuir la velocidad. En algunos casos pueden ser variaciones bruscas que sobresalen del pavimento y lo atraviesan de lado a lado, para inducir a los conductores a reducir la velocidad de su vehículo.

La efectividad del mismo se fundamenta en la incomodidad que supone para los vehículos atravesarlos a una velocidad superior a la que se considera “segura”.

Se los considera el método más efectivo para reducir la velocidad de los vehículos, disminuyendo a su vez la cantidad de accidentes de tránsito. Pueden ser diseñados en diferentes materiales, como ser cemento, goma, metal, asfalto, PVC, entre otros. A su vez, el perfil de los mismos puede ser circular, sinusoidal o trapezoidal. [2]

Debido a la falta de una clasificación de tipos de lomos de burro, se realiza una identificación basada en catálogos de fabricantes y decretos viales, en la cual se contemple tipo de material, forma, y recomendación de uso.

- **Lomo de Impacto Intermedio:** recomendado para calles internas, accesos a avenidas e interiores de estacionamientos. Reduce el impacto de los vehículos al sobrepasarlos, logrando una reducción de velocidad progresiva y no brusca. Tiene un alto aproximado de entre 50 y 60 mm, y un ancho de 200 mm. Su forma puede ser redondeada o trapezoidal. Su conformación es principalmente de polipropileno y resina plástica.
- **Lomo de Impacto Alto:** se utiliza en entradas a avenidas, zonas escolares, accesos a zonas urbanas y calles internas donde se busca una reducción brusca de velocidad en automóviles, colectivos y camiones. Tiene un alto aproximado entre 70 y 100 mm, y un ancho de 400 mm. Está fabricado en polipropileno y resina plástica.
- **Lomo de Impacto Bajo:** está diseñado para lugares de tránsito rápido, evitando un frenado brusco por parte de los rodados, obteniendo una leve reducción de velocidad, y evitando la posibilidad de golpes o roturas en los neumáticos. Tiene un alto de entre 20 y 40 mm, y un ancho entre 100 y 140 mm. Está conformado por polipropileno y resina plástica.
- **Lomo Peatonal:** son una prolongación de la acera a lo largo de la calzada de un cruce, y sobre ellas se encuentra el paso peatonal. La altura debe ser coincidente con la acera que se prolonga y el ancho del área plana debe ser acorde al ancho de esta con un mínimo de 2,0 m. Pueden ser de cemento o asfalto, y tienen forma trapezoidal.

### **Tachas**

Son un elemento de reducción de la velocidad del tránsito utilizado en las calles urbanas, que se fijan firmemente al pavimento de forma perpendicular al eje de la calzada, en varias hileras. Las mismas pueden o no ser reflectivas, conforme su utilización.

Las tachas utilizadas pueden ser de forma circular o piramidal truncada. Tienen una o dos caras retrorreflectivas en sentidos opuestos (monodireccional o bidireccional, respectivamente). Los colores reflectivos que se utilizan pueden ser rojo, blanco o amarillo; el color de las tachas debe ser blanco o amarillo. La altura de las mismas, independientemente de su forma, no debe superar los 3 centímetros. [3]

### **Diferentes pavimentos**

Los diferentes tipos de pavimentos, como ser adoquines, permiten una reducción de velocidad por parte de los vehículos, debido a la incomodidad que genera transitar por ellos. Pueden generar una reducción de velocidad de entre 4 y 15 km/hora, dependiendo del tipo de pavimento utilizado. [3]

### **Estrechamientos de carriles**

Los estrechamientos de carriles son alteraciones en la anchura de los mismos, para de esta forma lograr una reducción de velocidad por parte de los vehículos. Se recomienda realizar en calles donde el flujo de tránsito no supere los 600 automóviles en horas pico.

El ancho del carril debe ser de 2,75 a 3,20 metros para el paso de un vehículo, y en el caso del paso de dos el estrechamiento debe ser de 4 metros. En ambas opciones, se consigue una reducción de velocidad a por lo menos 20 km/hora. [3]

### **Elementos complementarios de visibilidad (Orejas)**

Estos dispositivos son demarcaciones de forma semicircular realizadas en las esquinas, generalmente pintadas en un color distinto al del pavimento, demarcadas por tachas u otros objetos sobresalientes a la calzada los cuales impiden que sobre ellas circulen automóviles. Facilitan el cruce de peatones, debido a que deben recorrer un espacio menor de calzada, facilitando el cruce la misma.



Por otro lado, éstas se encuentran relacionadas a los estrechamientos de calles, ya que generan una disminución del ancho de la calzada, generando una disminución de velocidad por parte de los vehículos. [4]

### **Carriles exclusivos para el Transporte Público de Pasajeros**

Son intervenciones que permiten la circulación exclusiva del transporte público sin la interferencia del tránsito local. Estos sectores están delimitados en la calzada, y quedan reservados exclusivamente para el tránsito vehicular de unidades de transporte público de pasajeros (urbanos como interurbanos), taxis y remises, transporte escolar y vehículos en situación de emergencia, tales como ambulancias, bomberos o policía.

### **Rotondas**

Es un sistema de circulación alrededor de una isla central, cuya entrada es controlada por demarcaciones y señalizaciones “Ceda el Paso”. Esta intervención se recomienda para para flujos medios y bajos. La utilización más frecuente está relacionada con el cruce seguro de distintos caminos, disminuyendo el peligro de accidentes. [4]

### **Ciclovías o bicisendas**

Son carriles diferenciados para el desplazamiento de bicicletas o vehículo similar no motorizado, físicamente separados de los otros carriles de circulación, mediante construcciones permanentes. [5]

## **3. Análisis del marco normativo actual**

En este apartado se expone un análisis preliminar de la normativa vigente en lo atinente a los reguladores de tránsito a nivel nacional, provincial y municipal.

### **Ley Nacional de Tránsito 24.449**

Regula el uso de la vía pública, y se aplica a la circulación de personas, animales y vehículos terrestres en la vía pública, y a las actividades vinculadas a esto. Las autoridades de aplicación son entonces los organismos nacionales, provinciales, municipales y de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires que determinen las respectivas jurisdicciones que adhieran a la ley (Ley N° 24449, 1995, págs. 1, Artículo 2).

Mediante esta ley se crea el Consejo Federal de Seguridad Vial que es el organismo responsable de generar acuerdo en torno la política de seguridad vial de la Argentina (Ley N° 24449, 1995, págs. 4, Artículo 6).

Entre sus funciones se encuentran: “Armonizar las acciones interjurisdiccionales”, y “Actualizar permanentemente el Código Uniforme de Señalización y controlar su aplicación” (Ley N° 24449, 1995, págs. 4, Artículo 7),

Respecto a la vía pública, especifica que: “*Toda obra o dispositivo que se ejecute, instale o esté destinado a surtir efecto en la vía pública, debe ajustarse a las normas básicas de seguridad vial, propendiendo a la diferenciación de vías para cada tipo de tránsito (...) Cuando la infraestructura no pueda adaptarse a las necesidades de la circulación, ésta deberá desenvolverse en las condiciones de seguridad preventiva que imponen las circunstancias actuales.*” (Ley N° 24449, 1995, págs. 10, Artículo 21).

Respecto a la señalización establece que: “*La vía pública será señalizada y demarcada conforme el sistema uniforme que se reglamente de acuerdo con los convenios internos y externos vigentes. Sólo son exigibles al usuario las reglas de circulación, expresadas a través de las señales, símbolos y marcas del sistema uniforme de señalamiento vial.*” (Ley N° 24449, 1995, págs. 10, Artículo 22). Este sistema de señalamiento se encuentra desarrollado en el ANEXO L de la ley.

Por otro lado, a fin de preservar la seguridad vial, el medio ambiente y la fluidez de la circulación; la ley permite a la autoridad local, fijar en zona urbana, dando preferencia al transporte colectivo y procurando su desarrollo: Vías o carriles para la circulación exclusiva u obligatoria de vehículos del transporte público de pasajeros o de carga, ...”. A la vez, aconseja propender a “*la creación de entes multijurisdiccionales de coordinación, planificación, regulación y control del sistema de transporte en ámbitos geográficos, comunes con distintas competencias.*” (Ley N° 24449, 1995, págs. 11, Artículo 24)

Respecto a “**Construcciones permanentes o transitorias en zona de camino**”, la ley especifica que “*Toda construcción a erigirse dentro de la zona de camino debe contar con la autorización previa del ente vial competente. Siempre que no constituya obstáculo o peligro para la normal fluidez del tránsito, se autorizarán construcciones permanentes en la zona de camino, con las medidas de seguridad para el usuario, a los siguientes fines: (...) b) Obras básicas para la infraestructura vial...*” (Ley N° 24449, 1995, págs. 12 y 13, Artículo 27).

### **Anexo L – Sistema de señalización vial uniforme (Ley 24449)**

El Sistema de Señalización Vial Uniforme comprende la descripción, significado y ubicación de los dispositivos de seguridad y control del tránsito, incluidos en el código, así como las especificaciones técnicas y normalización de



materiales y tecnologías de construcción y colocación y demás elementos que hacen a la calidad y seguridad de la circulación vial.

En este anexo se establece que el señalamiento lo debe realizar o autorizar el organismo nacional provincial o municipal responsable de la estructura vial ajustándose siempre al código y además prohíbe la utilización de símbolos o señales no contemplados en el mismo.

A través de los distintos capítulos, se especifican las normas para Señalamiento Vertical, Señalamiento horizontal, Señalamiento Luminoso y Señalamiento Transitorio.

Dentro del capítulo de señalamiento horizontal, en el apartado de “Marcas Especiales” define:

- **Marcas canalizadoras del tránsito (e Isletas):** Líneas sobre la calzada de color amarillo o blanco, oblicuas al sentido de circulación, paralelas entre sí o en "V", que se ubican sobre la calzada en los lugares en que el tránsito deba o pueda encauzarse en forma distinta por la presencia de obstáculos.

- **Separador de tránsito:** Elevaciones redondeadas (corrugados) alineadas y fijadas sobre la superficie de la vía, cuya altura máxima no supera los 10 cm, con bordes alabeados que prohíbe/dificulta el paso sobre ellas y sirve para separar o canalizar los sentidos de circulación o prevenir las zonas no circulables (isletas). Se ubican en forma alineada sobre el borde de la zona prohibida o separando los sentidos de circulación.

- **Tachas:** elemento de señalización generalmente de forma piramidal truncada de menos de 3 cm de altura que se fija al pavimento. Puede o no ser reflectiva. Se utilizan como advertencia para contribuir a la visibilidad de otras marcas, debiendo colocarse en coincidencia con las marcas en forma transversal.

- **Delineadores:** elementos de diversas formas (conos, postes, aletas, banderillas, cintas etc.) de fácil visualización que se colocan alineados y sirven para canalizar el tránsito y para destacar variaciones de la vía (banquinas, curvas, lomadas, rotondas, puentes, isletas, etc.

### Ley 26363 de Tránsito y Seguridad Vial

Esta ley crea la “Agencia Nacional de Seguridad Vial, organismo descentralizado en el ámbito del Ministerio del Interior (...) la que tiene como misión la reducción de la tasa de siniestralidad en el territorio nacional, mediante la promoción, coordinación, control y seguimiento de las políticas de seguridad vial, nacionales e internacionales.” (Ley N°26363, 2008, págs. 1, Artículo 1)

Establece que dicha agencia “será la autoridad de aplicación de las políticas y medidas de seguridad vial nacionales previstas en la normativa vigente en la materia.” (Ley N°26363, 2008, págs. 1, Artículo 3) y que tendrá entre sus funciones: “a) Coordinar, impulsar y fiscalizar la implementación de las políticas y medidas estratégicas para el desarrollo de un tránsito seguro en todo el territorio nacional; b) Propiciar la actualización de la normativa en materia de seguridad vial; c) Proponer modificaciones tendientes a la armonización de la normativa vigente en las distintas jurisdicciones del país; d) Evaluar permanentemente la efectividad de las normas técnicas y legales; (...) t) Diseñar e implementar un Sistema de Auditoría Nacional de Seguridad Vial; v) Realizar recomendaciones a los distintos organismos vinculados a la problemática de la seguridad vial en materia de seguridad de los vehículos, infraestructura, señalización vial y cualquier otra que establezca la reglamentación...” (Ley N°26363, 2008, págs. 1 y 2, Artículo 4).

Así mismo crea “el Observatorio de Seguridad vial, en el ámbito, de la Agencia Nacional de Seguridad Vial...”, cuya función es “la investigación de las infracciones y los siniestros de tránsito, de modo tal de formular evaluaciones de las causas, efectos, posibles medidas preventivas, sugerir las políticas estratégicas que se aconsejen adoptar en la materia (...)” (Ley N°26363, 2008, págs. 5, Artículo 18).

Por último, incorpora una serie de modificaciones a la Ley N°24.449.

Cabe aclarar que la Provincia de Santa Fe no adhiere enteramente a esta ley.

### Ley Provincial N° 13133 (2010)

Mediante esta Ley la provincia de Santa Fe adhiere a Ley Nacional de Tránsito N°24449 con sus modificatorias (Ley Provincial N° 13133, 2010, págs. 1, Artículo 1) y establece como autoridades de aplicación a la Agencia Provincial de Seguridad Vial, a los Municipios y Comunas, a la Subsecretaría de Transporte y a la Dirección Provincial de Vialidad (Ley Provincial N° 13133, 2010, págs. 1, Artículo 2).

Crea la Agencia Provincial de Seguridad Vial (APSV), con características y funciones análogas a la Agencia Nacional de Seguridad Vial. Por otra parte, crea también el Consejo Provincial de Seguridad Vial, dentro de la APSV y establece entre sus funciones “Propender a la unicidad y actualización de las normas, procedimientos y criterios de aplicación, entre la provincia, los municipios y las comunas” (Ley Provincial N° 13133, 2010, págs. 10, Artículo 19).

### Decreto Provincial N° 2044/01

Establece normas técnicas y manuales de procedimiento en lo atinente a reductores y controladores de Velocidad en Rutas Provinciales. Entre las normas Técnicas se encuentran las referentes a “Reducción de Velocidad mediante lomos de



burro” (Decreto Provincial N° 2044, 2001, págs. 18, ANEXO III B), y “Reducción de Velocidad con tachas reflectantes” (Decreto Provincial N° 2044, 2001, págs. 20, ANEXO III C)

### **Decreto Provincial N° 1064/19**

Modifica el ANEXO III B de las Normas Técnicas introducidas por el Decreto Provincial N°2044/01, ampliándolo a “Reducción de Velocidad con Lomo de Burro y Paso Peatonal sobreelevado”. En esta modificación establece el ámbito de aplicación de la norma, define los “reductores de velocidad” y establece las normas técnicas de emplazamiento de los antes mencionados. (Decreto Provincial N°1064, 2019)

### **Ordenanza N°10017 Reglamento General de Tránsito de la Ciudad de Santa Fe**

Mediante esta Ordenanza se aprueba el Reglamento General de Tránsito para la Ciudad de Santa Fe. Establece como autoridades de aplicación a la Dirección de Tránsito y Transporte, la Dirección de Planeamiento, Vialidad, Control y Abastecimiento y Dirección Tribunal Municipal de Faltas de la ciudad de Santa Fe.

Se establece un sistema uniforme de señalamiento vial que debe respetar lo determinado por la reglamentación y las normas y usos vigentes en el país (Ordenanza N° 10017, págs. 5, Art. 28).

Esta norma define las “Construcciones especiales en la vía Pública”. Establece que en zonas específicas donde existen aglomeraciones de personas en forma diaria, se pueden construir “reductores de velocidad” y los clasifica como sigue:

#### **Comunes**

- **Despertadores:** cambio de rugosidad o elevación del pavimento destinado a llamar la atención del conductor e inducirlo a reducir la velocidad.

- **Pianitos:** elevación del pavimento destinado a llamar la atención del conductor de un vehículo e inducirlo a reducir la velocidad.

- **Senda peatonal elevada:** elevación del pavimento en la zona establecida para el cruce de peatones, de dimensiones tales que obliguen al conductor de un vehículo a reducir la velocidad a los límites máximos permitidos por la reglamentación vigente y a respetar la zona de cruce peatonal.

- **Elementos prefabricados:** sistemas provistos por la industria (tachas refractivas, medias cañas, etc.), fijados y/o adheridos al pavimento, destinados a completar y/o suplantar las funciones de los anteriores en cuanto al llamado de atención, a su visualización y a sus efectos.

#### **Excepcionales**

- **Lomos de burro:** elevación del pavimento, transversal al sentido de circulación destinado a reducir la velocidad de los vehículos a los límites permitidos por la reglamentación vigente, que se colocarán una vez agotados otros medios de carácter preventivo. La altura de estos dispositivos no podrá exceder la de los cordones adyacentes ni los 12 cm.

### **Conclusiones del Análisis Normativo**

Del estudio de la normativa vigente tanto a nivel nacional, provincial como municipal se desprende que:

- Existe a nivel legal una intencionalidad de uniformar criterios en cuanto a intervenciones en la vía pública que tengan que ver con la circulación vehicular. Se crean organismos ad hoc y se definen funciones en los distintos niveles del Estado, con el objetivo de promover dicha uniformidad.

- Respecto al tema de estudio, a nivel nacional la ley no especifica nada sobre dispositivos y/o herramientas para inducir a la reducción de la velocidad de los vehículos. Sólo desarrolla ciertas “marcas especiales” que se utilizan para advertir o canalizar.

- A nivel provincial se adhiere a la ley nacional con algunas modificaciones, y se incorporan mediante decretos las normas técnicas para emplazamiento de reductores de velocidad en rutas provinciales, no definiendo nada en jurisdicción municipal o comunal.

- A nivel municipal, por medio de una ordenanza se definen los dispositivos antes descriptos, clasificando los conocidos “lomo de burro” como “Excepcionales”.

- Para el caso particular de las tachas, a nivel nacional se especifica su uso como advertencia y se colocan en forma paralela al sentido de circulación, a un costado del elemento que buscan identificar. Sin embargo, a nivel municipal se las incorpora en forma transversal como dispositivos reductores de velocidad.

## **4. Relevamiento de los sistemas de regulación de tránsito utilizados en la ciudad de Santa Fe**

A continuación, se realiza un relevamiento de la variedad de los sistemas de regulación de tránsito existentes en la ciudad de Santa Fe. Para comenzar, la Figura 1 muestra un detalle de señales de tránsito utilizadas en Santa Fe.



**Figura 1 – Señales de Tránsito en Santa Fe**

Las marcas en la vía de circulación se pueden ver en la Figura 2.



**Figura 2 – Marcas en la Vía de Circulación en Santa Fe**

Respecto a obras y dispositivos diversos, la Figura 3 muestra ejemplos de lomos de burro de Santa Fe.



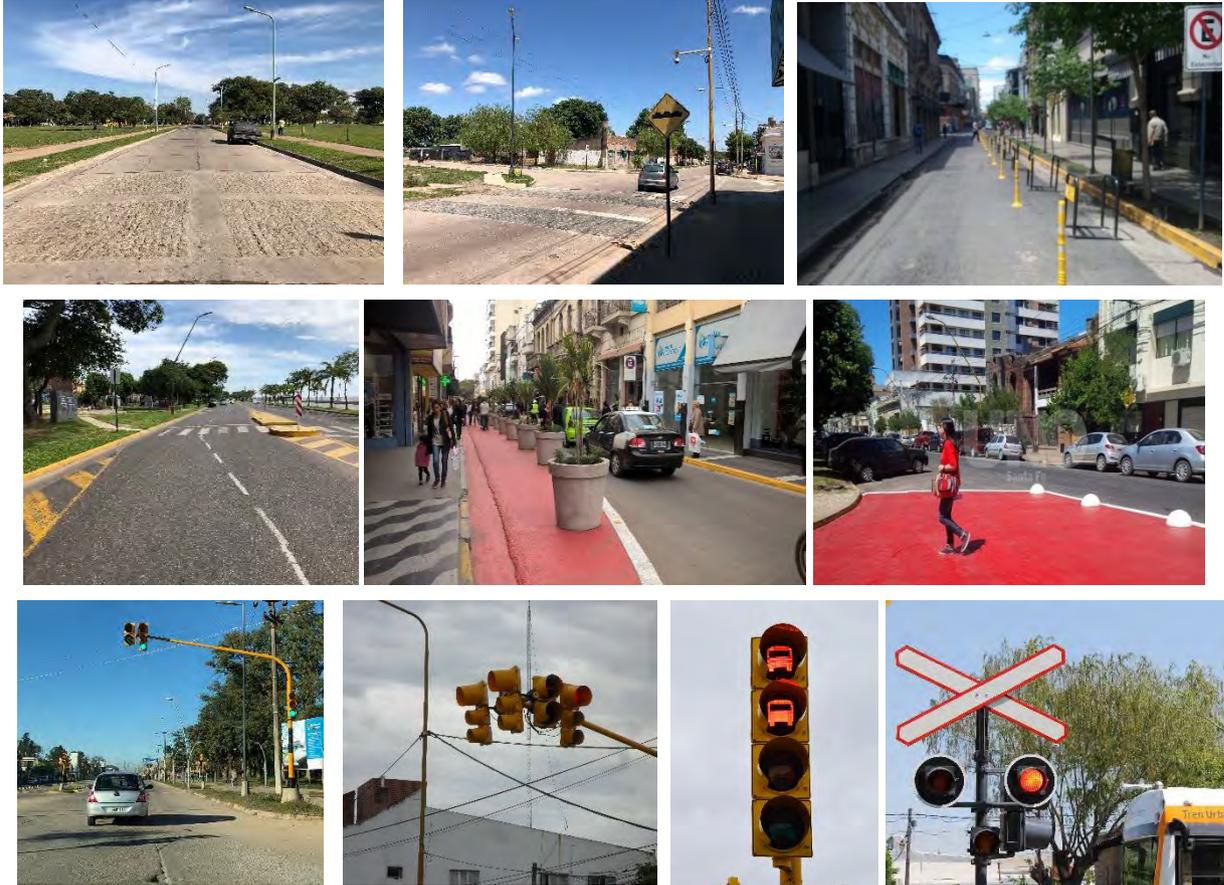
**Figura 3 – Lomos de burro en Santa Fe**

En cuanto a las Tachas, la Figura 4 presenta algunos tipos utilizados en la ciudad de estudio.



**Figura 4 – Tachas en calles de Santa Fe**

En cuanto a los pavimentos diferentes, los estrechamientos de carriles, las orejas y los semáforos, la Figura 5 presenta estos casos.



**Figura 5 – Distintos tipos de intervenciones de Santa Fe**

## 5. Conclusiones

A lo largo del documento se pudo determinar que existe un abanico de intervenciones tendientes a la regulación del tránsito urbano.

Esta diversidad se motiva en gran medida por la falta de una metodología para la definición del sistema más adecuado y por las presiones de los habitantes para resolver problemas de inseguridad vial.

Por lo tanto, es de vital importancia que la elección de las medidas de regulación del tránsito sea precedida de un estudio exhaustivo del sitio y de las condiciones del tránsito.

Lo que se plantea entonces a partir del presente artículo, es la necesidad de contar con una metodología de justificación, identificación y selección de alternativas que colabore con las entidades gubernamentales para tomar decisiones acertadas en materia de elección de sistemas de regulación del tránsito

## Referencias

- [1] Rafael Cal, Mayor R y James Cáredenas G., “Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y Aplicaciones”, Alfomega, (1995).
- [2] Manual de Señalización Horizontal, Ley 24449 de Tránsito y Seguridad Vial, Extractos del Decreto Reglamentario 779/95, (2012)
- [3] Instituto Mapfre, “Identificación de Problemas de Seguridad Vial en Travesías”, Editorial Mapfre (2003)
- [4] Manual de recomendaciones para la mejora de las condiciones de seguridad vial en polígonos industriales. Editorial Mapfre (2002)
- [5] Ley 25.965 Reforma a la Ley de Tránsito Nacional (<http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/100000-104999/102148/norma.htm>)



## El Túnel

*Dino Otero<sup>a</sup>, Leandro Robles Dávila<sup>b</sup>*

<sup>a</sup> Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación Vehicular, Facultad Regional Gral. Pacheco, Yrigoyen 288, Universidad Tecnológica Nacional. C.P.: 1617

<sup>b</sup> Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación Vehicular, Facultad Regional Gral. Pacheco, Yrigoyen 288, Universidad Tecnológica Nacional. C.P.: 1617

\* Dino Otero, dirección de correo electrónico: [dinootero@gmail.com](mailto:dinootero@gmail.com), [www.frgp.utn.edu.ar](http://www.frgp.utn.edu.ar)

### ABSTRACT

*The study of the union of two geographic points through a straight tunnel is presented. This would allow to take advantage of gravity as the main driver of the vehicle that travel inside the tunnel. The physical-mathematical study of the idea is carried out. A concrete example of an international union between Argentina and Uruguay is presented. Finally, the benefits and limitations that projects of this type would have and the possibility of solving them are analysed.*

*Keywords: Tunnel, Train, Gravity.*

### RESUMEN

*Se presenta el estudio de la unión de dos puntos geográficos mediante un túnel recto. Esto permitiría aprovechar la fuerza de gravedad como principal impulsora del vehículo que viaje dentro del túnel. Se realiza el estudio físico-matemático de la idea. Se presenta un ejemplo concreto de unión internacional entre Argentina y Uruguay. Finalmente se analizan los beneficios y limitaciones que tendrían proyectos de este tipo y la posibilidad de resolverlos.*

*Palabras Clave: Túnel, Tren, Gravedad.*

## 1. Introducción

Existe una forma particular de unir dos puntos geográficos con un mínimo gasto de energía. Se trata de construir un **túnel recto** que una los dos puntos **sin seguir la curvatura terrestre**<sup>1</sup>. Se lograría de esta manera que un vehículo fuera de un punto al otro en un semiperíodo de un péndulo invertido. La fuerza de gravedad sería el principal impulsor del vehículo, que por razones de seguridad debiera consistir en un tren comandado automáticamente en su partida, desplazamiento y arribo. Posiblemente debiera haber un tren para autos y otro para pasajeros. Presentamos aquí la idea desde un punto de vista físico-matemático, sin entrar en los problemas concretos de infraestructura y sin considerar pérdidas por rozamiento. Estas se deberían evaluar en un proyecto concreto en el cual ya estuviera determinado el tipo de tren, su longitud y la distancia a recorrer. La principal ventaja consistiría en un substancial ahorro de energía. El tiempo de traslado entre un punto y otro, del orden de los  $\frac{3}{4}$  de hora, compite con otros medios de transporte más convencionales y veremos que no depende de la distancia a recorrer. La limitación vendrá dada por la profundidad máxima del túnel y por la velocidad máxima que puede alcanzar el tren. No tiene sentido atravesar el planeta con el túnel o viajar a 290.000 km/seg!

## 2. Formulación físico-matemática

Comenzaremos por establecer la fuerza actuante, que en el caso de este túnel sería similar a la de un plano inclinado. Para determinar cómo varía la fuerza de gravedad dentro del túnel aplicaremos el teorema de Gauss.



### 1.1. Estructura

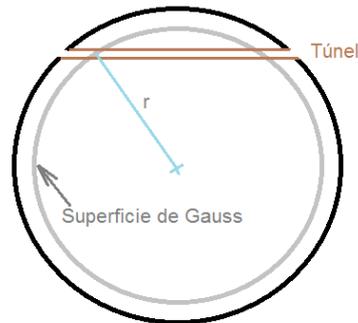


Figura 1 – Diagrama del túnel.

Para cada valor de  $r$ , se tiene:

$$\text{Masa contenida en el volumen } r = \rho \frac{4}{3} \pi r^3 \quad (1)$$

Donde  $\rho$  la densidad la supondremos constante, o en una primer aproximación, un valor promedio. La masa terrestre encerrada será igual al flujo total de campo gravitatorio a través de la superficie de Gauss<sup>1</sup>:

$$\rho \frac{4}{3} \pi r^3 = kg(r) 4\pi r^2 \quad (2)$$

De donde,

$$g(r) = \frac{\rho r}{3k} \quad (3)$$

La fuerza que actuará sobre el tren estará dada por la proyección en la dirección  $x$  de la fuerza de gravedad:

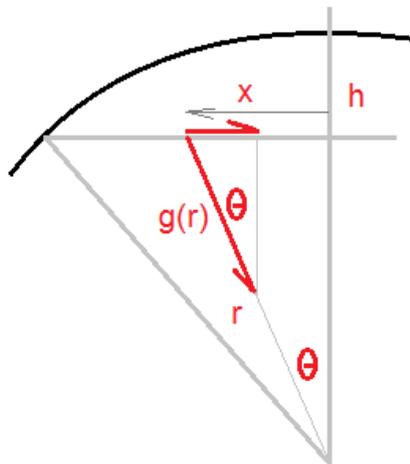


Figura 2 – Fuerzas actuantes sobre el tren.

$$F_x = m_T g_x(r) = m_T g(r) \frac{x}{r} = m_T \frac{\rho r}{3k} \frac{x}{r} = m_T \frac{\rho x}{3k} \quad (4)$$

Podemos expresar  $\rho$  en función del radio terrestre promedio  $r_0 = 6371 \text{ km}$  y tomaremos  $g_0 = 9,81 \text{ m/seg}^2$  como valor



standard sobre la superficie terrestre,

$$\rho = \frac{3kg_0}{r_0} \quad (5)$$

Y la fuerza nos queda,

$$F_x = m_T \frac{g_0}{r_0} x \quad (6)$$

La ecuación de Newton nos dice:

$$m_T \frac{g_0}{r_0} x = m_T \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (7)$$

Con solución:

$$x = A \operatorname{sen} \left( \sqrt{\frac{g_0}{r_0}} t \right) + B \operatorname{cos} \left( \sqrt{\frac{g_0}{r_0}} t \right) \quad (8)$$

Suponiendo que  $t=0$  el tren se encuentra en el origen  $x_0$  se tiene que,

$$x = x_0 \operatorname{cos} \left( \sqrt{\frac{g_0}{r_0}} t \right) \quad (9)$$

Interesa conocer el tiempo por el cual el tren va de un lado al otro, es decir un semiperíodo:

$$t = \frac{T}{2} = \pi \sqrt{\frac{r_0}{g_0}} = 2532 \text{ segundos} = 42 \text{ minutos } 16 \text{ segundos} \quad (10)$$

Este tiempo vale para cualquier longitud del túnel, asumiendo que  $x \ll r_0$ . Pero la velocidad máxima dependerá de dicha longitud:

$$v(x=0) = x_0 \sqrt{\frac{g_0}{r_0}} \quad (11)$$

Finalmente, debemos estimar la profundidad máxima del túnel en función de la distancia que se debe recorrer el tren, para completar la evaluación de la factibilidad:

$$h = r_0 - \sqrt{r_0^2 - \frac{x_0^2}{4}} \quad (12)$$

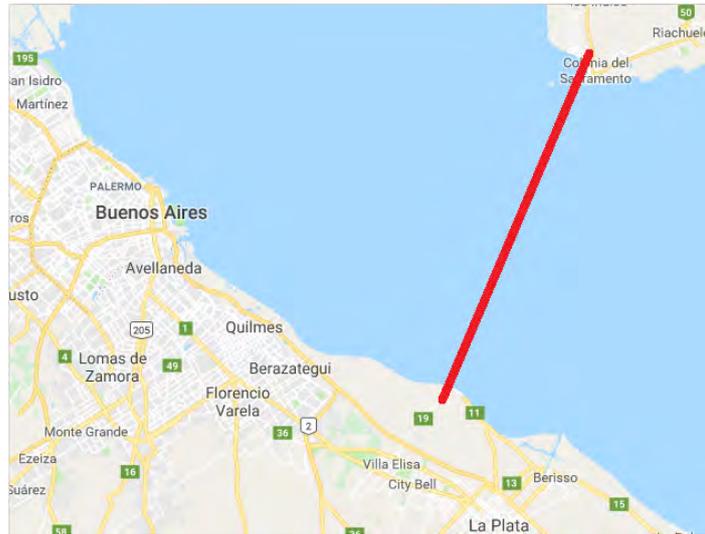
Las ecs. (11) y (12) permiten estimar la plausibilidad del proyecto: la velocidad no puede ser muy alta (¡o muy baja!) y la profundidad debe poder alcanzarse con las tecnologías actuales.

### 3. Un posible proyecto

Muchas veces se ha hablado de construir un puente entre Buenos Aires y la República de Uruguay<sup>3,4,5</sup>. Aquí en lugar de un Puente, propondremos un túnel. Para no entorpecer la navegación ubicaremos el túnel en la ruta provincial 19, cerca de Punta Lara y trataríamos de llegar a la ciudad Colonia del Sacramento, unos 40 km de recorrido total, la mitad



“cayendo” y la otras mitad “subiendo”. Tomando unos 5 km de cada lado para no entorpecer la navegación tendríamos  $x_0 = 25$  km y la profundidad máxima será de 49 metros. La profundidad al penetrar en el Río de la Plata sería de 9,8 m.

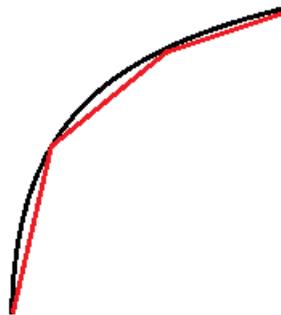


**Figura 3 – Esquema ilustrativo del túnel que uniría Buenos Aires con Uruguay.**

Por otro lado, la profundidad máxima del Río de La Plata en su desembocadura es de unos 25 metros. En la zona considerada debe oscilar entre 1 y 5 metros<sup>6</sup> por lo que el túnel es perfectamente factible. La velocidad máxima sería 111,68 km/h, también muy razonable. En el caso concreto el tren debería contar con una velocidad inicial, digamos de unos 20 a 30 k/h que, salvo las pérdidas por rozamiento sería la velocidad con que arribaría a Colonia.

#### 4. Conclusiones

De acuerdo con el ejemplo presentado, la distancia más conveniente considerando la profundidad máxima del túnel ronda los 50 km. Eventualmente podrían considerarse distancias mayores, digamos de 100 a 150 km. Aumentaría mucho la profundidad y la velocidad máxima, que no puede auto limitarse porque significaría una pérdida de energía, principal beneficio de esta propuesta. Por ejemplo, para 150 km, la profundidad máxima debería ser de 1766 m y la velocidad máxima 670 km/h. El ejemplo propuesto por Yakov Perelman<sup>1</sup> resulta en realidad imposible de realizar, incluso en la actualidad. Proponía unir Moscú con “Leningrado” (actual San Petersburgo) distante entre sí 670 km. La velocidad máxima en el centro hubiera sido de 2994 km/h y la profundidad 8814 m. Sin embargo, se podría continuar con esta propuesta realizando varios túneles unidos entre sí generando parte de un polígono como muestra la figura 4.



**Figura 4. Generación de túneles en cascada.**

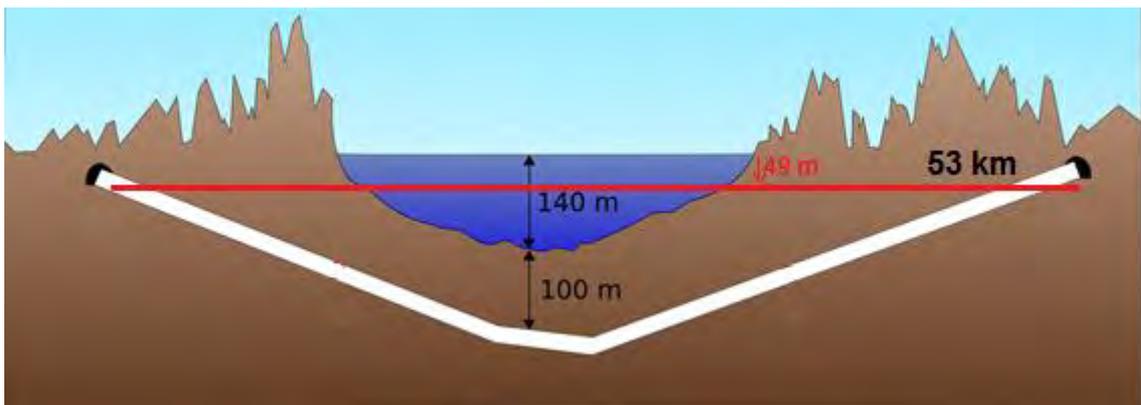
Esta es una propuesta mucho más humilde que la de los grandes túneles, como por ejemplo el de Seikan<sup>7</sup>:



**Figura 5: Localización del túnel de Seikan**



**Figura 6: Entrada al túnel de Seikan**



**Figura 6. Túnel de Seikan. En rojo la profundidad equivalente a la propuesta Punta Lara-Colonia.**

Otro imponente túnel, de similar longitud, es el del Canal de la Mancha que une Francia con Gran Bretaña<sup>8</sup>.

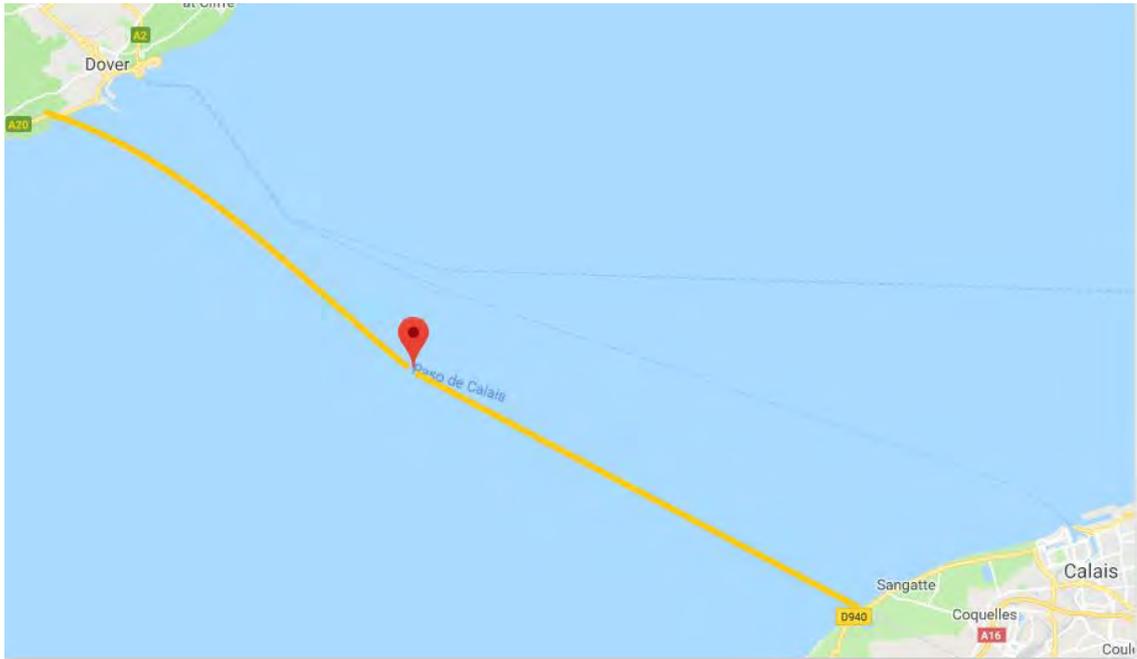


Figura 7. Localización del túnel del Canal de La Mancha.

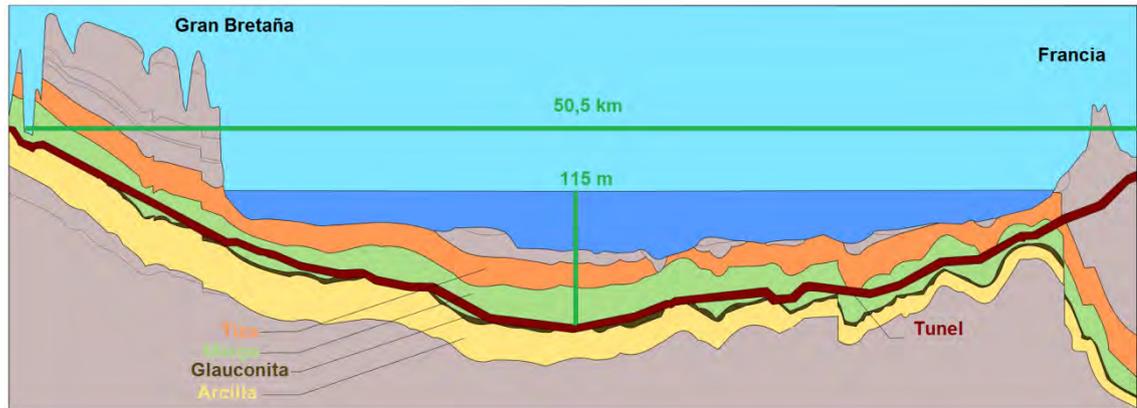


Figura 8. Túnel del Canal de la Mancha.

Finalmente, nuestra humilde propuesta:

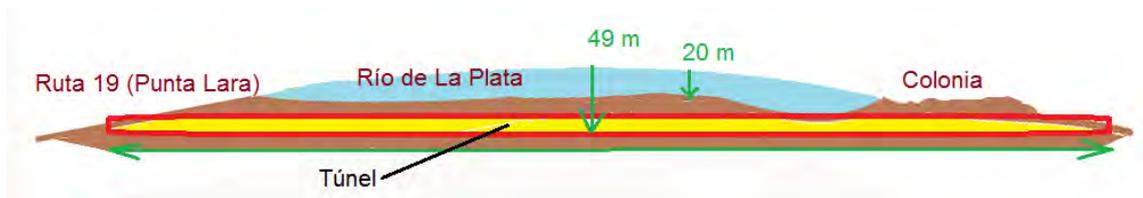
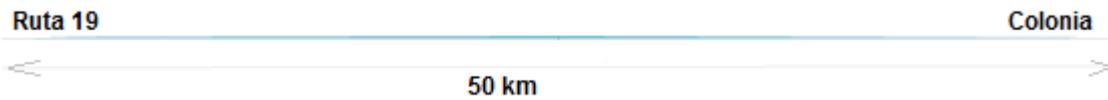


Figura 9. Imagen pictórica de la propuesta, poniendo énfasis en la curvatura de la Tierra.



**Figura 10. Imagen de la propuesta a escala  $5,5 \times 10^{-6}$ . Obsérvese en el centro que la línea es débilmente más gruesa debido a la curvatura de la Tierra.**

Finalmente, destacaremos que la realización de un puente tendría que adecuarse al paso de enormes barcos que arriban a Buenos Aires y otros que remontan el Río Paraná. Como contrapartida el túnel debería tener una renovación forzada de aire y un buen sistema de evacuación de agua. Como un producto adicional podríamos, quizás, convencer a todos los habitantes del planeta que la Tierra es cuasi esférica.

Agradecimiento: Al doctor Adrian Canzian por sus observaciones y comentarios.

## Referencias

- [1] Perelman Yakov., “Física Recreativa”, Libro 2  
Ed. Mir; Moscú, (1936).
- [2] Perucca E., “Física General y Experimental”, Tomo I  
Ed. Labor; 429, (1953).
- [3] Newkirk, Elena, “Los expedients de los proyectos que nunca se hicieron realidad”,  
Diario La Prensa, Buenos Aires, (15 de mayo de 2016).
- [4] Melazzi Gustavo y Manuel Chabalgoity, “Puente Colonia – Buenos Aires: un proyecto controvertido”,  
Instituto de Teoría de la Arquitectura y Urbanismo, Facultad de Arquitectura, Universidad de la República (1995).
- [5] Polino Héctor, “Eliminación del Tratado entre la República Argentina y la República Oriental del Uruguay para la construcción de un puente sobre el Río de la Plata”,  
Expediente 1559-D-03, Expediente 922-D-99 (2016).  
< <http://www.hectorpolino.com/?p=307>>
- [6] Ríos del Planeta., “Qué profundidad y Desembocadura tiene el Río de la Plata”,  
(12 de abril de 2019).  
<[https://riosdelplaneta.com/rio-de-la-plata/#Que\\_profundidad\\_y\\_Desembocadura\\_tiene\\_el\\_rio\\_de\\_la\\_Plata](https://riosdelplaneta.com/rio-de-la-plata/#Que_profundidad_y_Desembocadura_tiene_el_rio_de_la_Plata)>
- [7] Iturralde Mikel, “El túnel de Seikán, el más largo del mundo.”, Treneado  
(8 de septiembre de 2009).  
<<https://treneando.com/2009/09/08/el-tunel-de-seikan-el-mas-largo-del-mundo/>>
- [8] Ingeoexpert, “Eurotúnel. Túnel del Canal de la Mancha.”,  
(3 de agosto de 2018).  
<<https://ingeoexpert.com/eurotunel-tunel-del-canal-la-mancha/?v=5b61a1b298a0>>



## Patrones de comportamiento de conductores en accidentes de tráfico en España. Periodo 2004-2013

*Almudena Sanjurjo-de-No<sup>a,b,\*</sup>, Blanca Arenas-Ramírez<sup>a,b</sup>, José M. Mira<sup>a</sup>, Arturo Furones Crespo<sup>b,†</sup>, Francisco Aparicio-Izquierdo<sup>a,b</sup>*

<sup>a</sup> Escuela Politécnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid (ETSII UPM). José Gutiérrez Abascal 2, Madrid, 28006, España.

<sup>b</sup> Instituto Universitario de Investigación del Automóvil Francisco Aparicio Izquierdo. Universidad Politécnica de Madrid. (INSIA UPM). Campus Sur UPM. Carretera de Valencia (A3) km.7. Madrid, 28031, España.

\* Autor principal, dirección de correo electrónico: almudena.sanjurjo.no@gmail.com

### ABSTRACT

*Spain has achieved in recent years a prominent position in the group of countries in the world with better levels of road safety in some of the most commonly used indicators. New improvements from this position are becoming increasingly difficult and it requires a greater level of knowledge of the influencing factors in the accidents of different groups of drivers, vehicles, etc. to discriminate, as far as possible, the most effective actions aimed at each of them. On the other hand, there are topics in relation to the behavior of men and women drivers who, frequently, are not corroborated or denied by objective data resulting of scientific work, mainly in Spain, where the number of research works on this subject is limited.*

*In this investigation, the hypotheses adopted were: There are differences by gender and age in relation to the offences committed by drivers.*

*To carry out the analysis in Spain, two approaches were applied to a sample of interurban accidents, between two passenger cars in the period 2004-2013: Contrasts of hypotheses on equality of relative proportions and the Self-Organizing cluster technique Maps (SOM).*

*The results suggest that men are more likely to engage in risky behavior than women, with higher speeds and more drug and alcohol use, given that statistically significant differences have been found between men and women in these offences. In general, most of the results of the investigation show a better behavior of driving of women in relation to men.*

*Keywords: Road safety; Traffic accidents, Driver behaviour, Gender, Age*

### RESUMEN

*España ha alcanzado en los últimos años una posición destacada en el grupo de los países del mundo con mejores niveles de seguridad vial en algunos de los indicadores utilizados. Nuevas mejoras desde esta posición resultan cada vez más difíciles y requieren un mayor conocimiento de los factores de influencia en los accidentes de colectivos de conductores, vehículos, etc. para discriminar, en lo posible, las acciones más eficaces orientadas a cada uno de ellos. Por otra parte, existen tópicos en relación con los comportamientos de hombres y mujeres conductores que, con frecuencia, no están corroborados o desmentidos por datos, fruto de trabajos científicos, fundamentalmente en España, donde el número de trabajos de investigación sobre este tema está limitado.*

*En la investigación desarrollada, las hipótesis fueron: Hay diferencias por género y edad en relación a las la implicación en accidentes de tráfico, en los tipos de accidentes y en el comportamiento de los conductores. En este trabajo, se presentan los resultados relacionados con el comportamiento de los conductores a través de las infracciones cometidas que implican mayor riesgo: infracciones de velocidad y consumo de alcohol/droga.*

*Para llevar a cabo el análisis, se aplicaron dos enfoques a una muestra de accidentes, entre dos turismos, ocurridas en el periodo 2004-2013 en carreteras interurbanas en España: Contrastes de hipótesis sobre igualdad de proporciones relativas y la técnica de clúster Self-Organizing Maps (mapas SOM).*

*Los resultados sugieren que hay patrones de comportamiento diferentes entre hombres y mujeres: Los hombres, implicados en accidentes de tráfico entre dos turismos, desarrollan mayores velocidades y consumen más alcohol/drogas que las mujeres. Se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en estas infracciones por género. En general la mayor parte de los resultados de la investigación ponen de manifiesto un mejor comportamiento de conducción de las mujeres en relación a los hombres.*

*Palabras Clave: Seguridad vial; Accidentes de tráfico; Comportamiento de conductores; Género; Edad.*



## 1. Introducción

Las mujeres se han incorporado masivamente a la conducción de automóviles en épocas más recientes que los varones y, con frecuencia, el uso que realizan de los vehículos según tipos de vía, kilómetros recorridos al año, motivos de viaje, tipos de vehículos que utilizan y posiblemente otros factores de influencia en la conducción, difieren de manera general entre estos dos colectivos de conductores, lo que conduce a formular que el género es una variable relevante en la conducción y en la implicación en accidentes.

En la literatura, se han encontrado numerosos análisis que ponen su foco sobre el género como una variable importante y de interés, y los resultados indican que es un factor relevante en la conducción y el riesgo de resultar implicado activamente en un accidente de tráfico, como han señalado los autores de las referencias [1-4].

La accidentalidad con resultado de víctimas mortales es mayor entre los conductores del sexo masculino [2, 4-8]. Las tasas de accidentalidad en ambos sexos están influenciadas por la edad, siendo los conductores jóvenes [2, 3, 6, 8-10] y los conductores adultos [6, 8, 9] los que reportan una mayor cantidad de accidentes, siendo las diferencias significativas. En cambio, en términos de tasa de implicación en accidentes por milla recorrida, se han encontrado resultados ligeramente más altos en las mujeres que en los hombres en diversas franjas de edad [6].

Por otro lado, los autores del trabajo [11] concluyen que los hombres muestran menor percepción del riesgo durante la conducción, siendo, además, más impacientes ante los semáforos intermitentes. A su vez, se ha observado que conducir bajo los efectos del alcohol, incrementa la probabilidad de comportamientos de riesgo [8, 12]. Estos también conducen con velocidades mayores que las mujeres [8, 10]. En los trabajos desarrollados por [7, 10, 11] se aprecia una menor tasa de utilización del cinturón de seguridad de los hombres en comparación con las mujeres. En general, los hombres y los conductores jóvenes cometen más infracciones, y más contravenciones a las normas de tráfico [5, 10]. Las mujeres, por su parte, son más propensas a distraerse y a cometer errores perceptivos en comparación con los hombres [8].

El interés por el análisis de los temas relacionados con la seguridad vial, considerando el género de los conductores, así como las diferencias significativas encontradas en diversas investigaciones, motivó el desarrollo de un trabajo de investigación en España [20], cuyo objetivo fue la evaluación de las diferencias entre hombres y mujeres conductores en España, en relación con su implicación en accidentes de tráfico con víctimas y con la severidad de los mismos. Las hipótesis de partida, postulan que existen diferencias apreciables entre conductores de diferente género en relación a su implicación en accidentes de tráfico y estas diferencias pueden variar para distintas franjas de edad. Asimismo existen diferencias apreciables entre conductores de diferente género implicados en accidentes, en relación con las infracciones cometidas en los momentos previos a los mismos.

Para este trabajo, se presentan los resultados de la aplicación de dos metodologías estadísticas: Contraste de proporciones y análisis Clúster con mapas SOM.

Las diferencias estadísticamente significativas entre los conductores de ambos sexos, se evalúan con la técnica de contraste de proporciones entre hombre y mujeres de manera global y por franjas de edad. Se han denominado proporciones a los ratios de la frecuencia de una determinada característica en hombres y en mujeres cuando son referidas a los subtotales de cada colectivo ( $H / M$ ) en los accidentes de la muestra. Con el análisis de proporciones de los conductores implicados, se pretende obtener información cuantitativa relativa a diferencias en el comportamiento de ambos géneros, que ayudan, a interpretar y validar las hipótesis de partida en relación con las infracciones cometidas por los conductores. Los resultados obtenidos se comparan con los obtenidos con la aplicación de la técnica de aprendizaje no supervisado SOM, que permiten extraer y analizar patrones de comportamientos de conductores en razón de género y ayudan a reforzar los resultados.

En la revisión de la literatura científica, la técnica tradicional de los contrastes de hipótesis se ha aplicado para analizar las diferencias entre hombres y mujeres conductores [1, 5]. En el trabajo desarrollado por [20] se identificaron diferencias significativas entre hombres y mujeres y estratos de edad en la implicación en tipos de accidentes, por tipo de vías, y en la comisión de infracciones varias, en una amplia muestra de accidentes entre dos turismos ocurridos en España entre 2004 y 2013.

Las técnicas de agrupamiento de SOM se han aplicado a diferentes campos. En accidentes de tráfico, se han encontrado algunos trabajos relevantes: se propone un modelo probabilístico en [13] para predecir accidentes de tráfico mediante la aplicación de monitoreo 3D de vehículos. Se ha desarrollado un modelo analítico en [14] para conocer la asignación de responsabilidad por accidentes de tráfico en Taiwán. En el trabajo de [15] se estudiaron los accidentes de peatones, aplicando técnicas de agrupación con el fin de identificar patrones para diseñar medidas preventivas y asignar recursos a los problemas identificados. En el trabajo de [20] se estudiaron los accidentes entre dos turismos en un período de 10 años en España y se han identificado patrones multivariante de comportamiento de los conductores implicados en las colisiones entre dos turismos.



## 2. Base de datos

A partir de la base de datos de accidentes de tráfico en España, propiedad de la Dirección General de Tráfico (DGT), que incluye todos los accidentes donde, al menos, una persona ha resultado herida y contempla un total de 108 variables registradas, se han seleccionado aquellas variables relacionadas con los accidentes de dos vehículos de pasajeros en carreteras interurbanas, para evitar sesgos debidos a conductores más profesionales o viajes relacionados con actividades, donde las conductoras están infra representadas.

En el periodo de estudio de 2004 hasta 2013, se han producido un total de 908.077 colisiones entre vehículos en desplazamiento. El filtrado de este conjunto de colisiones en vía interurbanas y entre dos turismos, así como la exclusión de casos incompletos, conduce a la muestra SB (79.589).

En la Figura 1 se ilustra el proceso de filtrado, incluida la desagregación de la muestra de SB en las sub-muestras de SBi de conductores emparejados por género (SBI: 2 colisiones de turismos con conductores varones, SBII: 2 colisiones de turismos con conductoras y SBIII: 2 colisiones de turismos con conductores hombres vs. Mujeres). Para cada conductor, se dispone en la base de datos del registro de las distintas infracciones cometidas para el estudio del comportamiento de conductores: Infracción del conductor (distracciones, invadir parcialmente el sentido contrario,...), infracción de velocidad (exceso, inadecuada o baja perturbando el tráfico) infracción administrativa (permiso de conducción caducado, inválido, ITV no aprobada,...), defecto físico (de visión, de audición, ...), defecto del vehículo (neumáticos desgastados, luces, frenos en malas condiciones,...), consumo de alcohol/droga, sueño y enfermedad súbita.

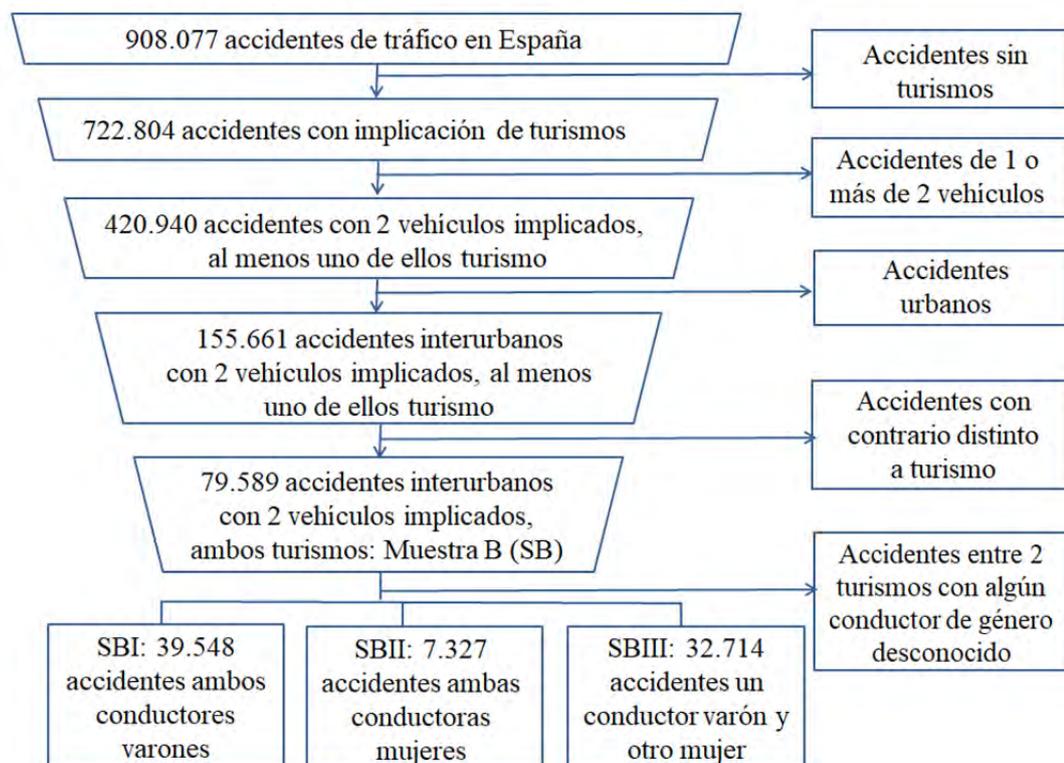


Figura 1 – Muestra SB y selección de sub-muestras SBi (Años 2004-2013).

## 3. Metodología

Para las colisiones entre turismos de la muestra SB y las sub-muestras de SBi se realizaron contrastes de hipótesis, para comparar las proporciones de las infracciones de conductores por género y grupos de edad.

Al aplicar los contrastes de hipótesis, las proporciones de infracciones de conductores (hombres y mujeres) se compararon con criterios estadísticos, para establecer si existen diferencias estadísticamente significativas entre hombres y mujeres del mismo grupo de edad y rechazar o no la hipótesis de proporciones iguales de una característica dada de dos poblaciones. El estadístico del contraste es:



$$d = \frac{\overline{p_1} - \overline{p_2}}{\sqrt{\frac{p_1}{n_1} + \frac{p_2}{n_2}}} \quad (1)$$

Por otro lado, mediante la aplicación de la técnica de clúster SOM se realiza un análisis conjunto de las 8 variables relacionadas con el comportamiento del conductor para cada accidente de la muestra MB, estudiándolas en función de género.

El SOM es una técnica de clúster de aprendizaje no supervisado desarrollada por Kohonen T. (1998) y es una de las más populares técnicas de redes neuronales. El propósito de SOM es representar los datos en un espacio de menor dimensión, generalmente 2D, por lo que los datos pueden ser visualizados en los mapas, mientras se mantiene su estructura topográfica del espacio original [16-19].

El análisis de los resultados permite extraer información muy relevante de los patrones de comportamiento de riesgo entre los conductores en razón del género con SOM y de género y franjas de edad con los contrastes de hipótesis.

## 4. Resultados

En este artículo se presentan los resultados obtenidos para las infracciones relacionadas con la velocidad y con el consumo del alcohol y/o drogas. Los resultados de las dos aplicaciones para SB y sub-muestras SBi se analizan en profundidad, buscando las diferencias por género y grupo de edad para extraer las principales conclusiones.

### 4.1. Contrastes de hipótesis para las infracciones relacionadas con la velocidad

Los resultados de los contrastes de proporciones por género y grupos de edad de las infracciones de velocidad cometidas por el conductor implicado en una colisión entre dos turismos en vía interurbana, se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1 – Contrastes de hipótesis para las infracciones de velocidad por género y franjas de edad.

Grupos de edad	Género	Infracciones de velocidad por género y edad (2004-2013)	
		Sí	Estadístico Normal
18-30	H	15,94%	23,23
	M	8,60%	
31-55	H	8,33%	13,39
	M	5,62%	
56 -75	H	4,57%	-1,15
	M	5,05%	
A partir de 76 años	H	2,91%	-0,10
	M	3,02%	

El estadístico normal es mayor que 2 en los contrastes de hipótesis por género y grupos de edad hasta los 55 años. Por lo que se puede concluir que existen diferencias significativas de género para las infracciones de velocidad en colisiones entre dos turismos en las dos primeras franjas de edad. Las relaciones entre ratios de las proporciones de infracción de velocidad) entre hombres y mujeres son: H / M = 1,85 de 18 a 30 años y 1,48 de 31 a 55 años, lo que muestra valores más altos para los hombres. Estas diferencias disminuyen con la edad. Asimismo, no se observan diferencias significativas para los conductores mayores de ambos sexos y los ratios indican una mayor proporción de mujeres en este grupo.

### 4.2. Contrastes de hipótesis para las infracciones relacionadas con el consumo de alcohol/drogas

En la Tabla 2 se muestran los resultados del contraste de hipótesis para las infracciones relacionadas con el consumo



de alcohol y/o drogas. Aquí puede observarse que el estadístico normal es mayor que 2 para todos los contrastes de hipótesis por género y grupos de edad donde están presentes el consumo de alcohol / drogas, aunque estas diferencias disminuyen con la edad. Por tanto, los resultados muestran que existen diferencias significativas en la comisión de presuntas infracciones por consumo de alcohol y/o drogas entre los conductores varones y mujeres implicadas en colisiones entre dos turismos y en todas las franjas de edad.

En términos generales e independientemente de la edad, por cada conductora involucrada en las colisiones de la muestra MB, donde el consumo de alcohol y/o drogas están presentes, hay 5 conductores equivalentes (Ratio H / M = 4,5 de 18 a 30 años y H / M = 5 para edades de 31 a 55 años y H / M = 4,5 para 56 a 75 años).

Tabla 2 – Contrastes de hipótesis para las infracciones de consumo alcohol/drogas por género y franjas de edad.

Grupos de edad	Género	Infracciones alcohol/drogas por género y edad (2004-2013)	
		Sí	Estadístico normal
18-30	H	6,5%	30,80
	M	1,4%	
31-55	H	6,6%	39,30
	M	1,3%	
56-75	H	3,0%	12,57
	M	0,7%	
A partir de 76 años	H	0,7%	5,20
	M	0,0%	

### 4.3. Análisis Clúster con Mapas SOM.

En esta sección, se llevó a cabo el análisis clúster con mapas SOM para las 8 variables relacionadas con las infracciones del conductor que se han señalado anteriormente

La distribución de estas variables en 8 dimensiones fue proyectada en el mapa bidimensional, preservando la topología original, es decir, las distancias entre las observaciones en el espacio original. El mapa resultante se muestra en la Figura 2, donde se utiliza la notación Cij para cada nodo (o grupo /clúster), donde "i" y "j" representan filas y columnas, respectivamente.

Los grupos son los más homogéneos posibles en el espacio original de 8 dimensiones (homogeneidad multivariada); A cada variable se le asigna un color diferente, como se especifica en la leyenda de la figura. Cada variable toma el valor 0 si no se cometió la infracción, 2 si ocurrió y 1 si no se conoce.

El tamaño de cada sector coloreado mide el promedio de la variable correspondiente, es decir, cuanto mayor sea el tamaño, más frecuente será el valor de "sí" (es decir, 2) para las infracciones. Así, por ejemplo, el nodo C13 incluye en promedio 2.197 conductores que han cometido infracciones de velocidad y el nodo C44 muestra que hay 932 conductores que han cometido infracción por consumo de alcohol y/o drogas.

En el SOM, se observan dos grupos particularmente importantes, que representan la mitad del tamaño de la muestra: C15, en el que se encuentran todos los conductores que no han cometido ninguna infracción, y C41, que incluye a los conductores que han cometido alguna infracción del conductor, cualquiera que sea.

Por otro lado, en la Figura 3 se muestra el porcentaje de hombres y mujeres distribuidos dentro del mapa SOM. En esta figura se puede observar que el nodo C41 presenta proporciones casi iguales para ambos sexos (20,60% para las mujeres y 20,18% para los hombres). Aquí se debe tener en cuenta que el mapa SOM se creó a partir de todos los datos y con todas las infracciones, mientras que los contrastes de hipótesis, se llevaron a cabo para cada tipo de infracción.

Por tanto, se podría concluir que, a nivel global, las infracciones están equilibrados por género, mientras que en el análisis desagregado por infracción, los hombres están más representados en los diferentes tipos de infracciones, mientras que las mujeres lo están más por distracciones.

El nodo C15 incluye a todos los conductores que no han cometido infracciones y la representación de los hombres en este clúster es menor, lo que compensa de alguna manera la creencia de que los hombres son en general más propensos a cometer infracciones durante la conducción.

Particularizando el análisis, se observa que las proporciones de hombres aumentan significativamente con respecto a las de las mujeres cuando las infracciones de velocidad aparecen de manera conjunta con las infracciones del conductor (Nodos C11, C12 y C13). Esta misma conclusión se alcanzó con los contrastes de hipótesis (Tabla 1), donde se observó



que los hombres de hasta 55 años incurrieron significativamente en más infracciones de velocidad que las mujeres.

Otra conclusión importante que se puede extraer del análisis conjunto del mapa SOM y de la distribución por género es que la proporción de hombres es significativamente mayor que la de las mujeres cuando hay consumo de alcohol o drogas (grupos C43, C44 y C45), como se mostraba en la Tabla 2. En estos grupos, las proporciones para los hombres son cinco veces más altas que las de las mujeres en el consumo de alcohol y drogas. Además, en los contrastes de hipótesis, se observó que las diferencias disminuían con la edad, lo que no se puede deducir de los mapas SOM, dado que la edad no se tiene en cuenta.

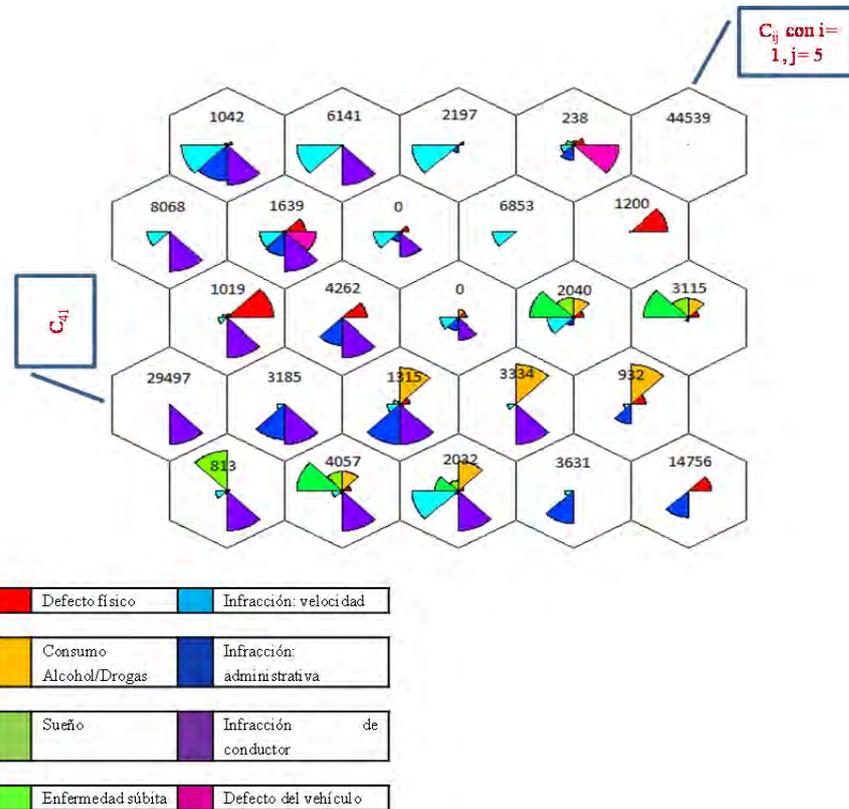


Figura 2 – Mapa SOM. Distribución de infracciones de conductores

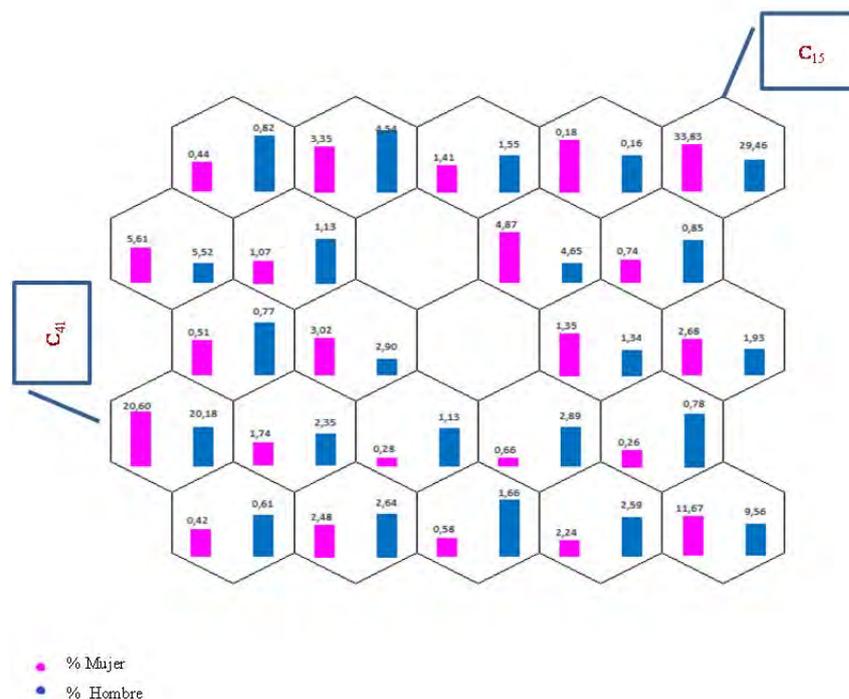


Figura 3 – Mapa SOM. Distribución de conductores por género.

## 5. Conclusiones

A partir de los patrones obtenidos de los datos utilizados y analizados en el presente trabajo con ambas metodologías, se puede concluir que las hipótesis iniciales en relación con las infracciones objeto de este trabajo, fueron validadas y que, por tanto, existen diferencias significativas por género en relación a las infracciones cometidas, particularmente en las infracciones de velocidad y en el consumo de alcohol y/o droga. Es importante señalar que las diferencias entre hombres y mujeres, se ven influenciadas por la edad como se extrae de la metodología de Contraste de Proporciones.

Las mujeres conductoras muestran un perfil accidentológico más favorable que los conductores varones: su comportamiento es más respetuoso con las normas de tráfico, traducido en un menor número de infracciones, en general, y menor asunción de riesgo si se tiene en cuenta el menor número de infracciones de velocidad, de alcohol y drogas. Los ratios de infracciones de velocidad de los hombres son casi el doble que las de las mujeres, aunque las diferencias disminuyen con la edad. Por su parte, los ratios de consumo entre hombres y mujeres de consumo de alcohol o droga son cinco veces mayores en todos los grupos de edad. Todo esto podría conducir a argumentar que si las mujeres asumen menos riesgo, presenten una tasa de implicación en accidentes menor y que aquellos en los que resultan implicadas son potencialmente los que producen una menor lesividad se podría esperar como resultado final un número inferior de muertos y heridos graves por ocupantes o peatones implicados en los accidentes en los que aparece implicada una conductora, como se ha demostrado en la investigación realizada bajo el proyecto “Evaluación de los patrones de comportamiento de las mujeres en los accidentes de tráfico” durante los años 2016-2017 [20].

## Agradecimientos

El equipo de investigadores agradecemos a la Fundación Eduardo Barreiros su apoyo para llevar a cabo este trabajo en el marco de la Cátedra Universidad – Empresa “Eduardo Barreiros Automóvil y Movilidad Sostenible”, al Instituto Universitario de Investigación del Automóvil Francisco Aparicio Izquierdo de la Universidad Politécnica de Madrid. (INSIA UPM) por los recursos humanos y financieros provistos para este trabajo. Los autores también agradecen a la Comunidad de Madrid, que contribuyó a este trabajo a través del Programa SEGVAUTO 4.0-CM (S2018-EMT-4362).

## Referencias



- [1] Al-Balbissi A., “Role of Gender in Road Accidents”, *Traffic Injury Prevention*; 4, 64-73, (2003).
- [2] Turner C. and McClure R., “Age and gender differences in risk-taking behavior as an explanation for high incidence of motor vehicle crashes as a driver in young males”. *Injury Control and Safety Promotion*; 10 (3), 123-130, (2003).
- [3] Jiménez J.J., Lardelli P., Luna J.D., García M., Bueno A., Gálvez R., “Efecto de la edad, el sexo y la experiencia de los conductores de 18 a 24 años sobre el riesgo de provocar colisiones entre turismos”, *Gaceta Sanitaria*; 18 (3), 166-176, (2004).
- [4] Durán M., Cantón D., Castro C., “Changing Patterns in Women's Driving”, *International Journal of Psychological Research*; 2 (1), 54-66, (2009).
- [5] Laapotti S., Keskinen E., Rajalin S., “Comparison of young male and female drivers' attitude and self-reported traffic behavior in Finland in 1978 and 2001”, *Journal of Safety Research*; 34, 579-587, (2003).
- [6] Williams A., “Teenage drivers: Patterns of risk”, *Journal of Safety Research*; 34, 5-15, (2003).
- [7] Bose D., Segui-Gomez M., Crandall J., “Vulnerability of Female Drivers Involved in Motor Vehicle Crashes: An Analysis of US Population at Risk”, *American Journal of Public Health*; 101 (12), 2368-2373, (2011).
- [8] Massie D., Campbell K., Williams A., “Traffic Accident Involvement Rates by Driver Age and Gender”, *Accident Analysis and Prevention*; 27 (1), 73-87, (1995).
- [9] Lardelli P., Luna J.D., Jiménez J.J., Bueno A., García M., Gálvez R., “Age and Sex Differences in the Risk of Causing Vehicle Collisions in Spain, 1990 to 1999”, *Accident Analysis and Prevention*; 35, 261-272, (2003).
- [10] Özkan T., Lajunen T., “What causes the differences in driving between young men and women? The effects of gender roles and sex on young drivers' driving behavior and self-assessment of skills”, *Transportation Research Part F*; 9, 269-277, (2006).
- [11] Harris C., Jenkins M., “Gender Differences in Risk Assessment: Why do Women Take Fewer Risks than Men?”, *Judgment and Decision Making*; 1 (1), 48-63, (2006).
- [12] DeJoy D., “An Examination of Gender Differences in Traffic Accident Risk Perception”, *Accident Analysis and Prevention*; 24 (3), 237-246, (1992).
- [13] Hu W., Xiao X., Xie D., Tan T., Maybank S., “Traffic Accident Prediction Using 3-D Model-Based Vehicle Tracking”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*; 53 (3), 677-694, (2004).
- [14] Liu P., “A self-organizing feature maps and data mining based decision support system for liability authentications of traffic crashes”, *Neurocomputing*; 72, 2902-2908, (2009).
- [15] Giacomo C., Gitelman V., Bekhor S., “Mapping patterns of pedestrian fatal accidents in Israel”, *Accident Analysis and Prevention*; 44, 56-62, (2012).
- [16] Chen Y., Zhang Y., Hu J., Yao D., “Pattern Discovering of Regional Traffic Status with Self-Organizing Maps”, Presented at Proceeding of the 9th International Conference on Intelligent Transportation Systems, Toronto, 647-652, (2006).
- [17] Kohonen T., “Essentials of the Self-Organizing Map”, *Neural Networks*; 37, 52-65, (2013).
- [18] Kohonen T., “The self-organizing map”, *Neurocomputing*; 21, 1-6, (1998).
- [19] Yin H., “The Self-Organizing Maps: Background, Theories, Extensions and Applications”, *Computational Intelligence: A Compendium*; 115, 715-762, (2008).
- [20] Francisco Aparicio Izquierdo, Blanca Arenas Ramírez, José Manuel Mira McWilliams, Javier Páez Ayuso, Arturo Furones Crespo. *Mujeres conductoras en España. Implicación en accidentes de tráfico y comparación con los conductores varones*. F.G.U.P.M. Sección de Publicaciones, E.T.S. Ingenieros Industriales. I.S.B.N.: 978-84-16397-63-1. Madrid. España, 1-62. (2017).



## Modelado de emisiones de partículas de autobuses urbanos

**Edinalva Gomes Bastos<sup>b\*</sup>, Víctor Pita González-Campos<sup>a</sup>, Blanca Arenas-Ramírez<sup>a,b</sup>, José M. Mira<sup>a</sup>, Francisco Aparicio-Izquierdo<sup>a,b</sup>**

<sup>a</sup> Escuela Politécnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid (ETSII UPM). José Gutiérrez Abascal 2, Madrid, 28006, España

<sup>b</sup> Instituto Universitario de Investigación del Automóvil Francisco Aparicio Izquierdo. Universidad Politécnica de Madrid. (INSIA UPM). Campus Sur UPM. Carretera de Valencia (A3) km.7. Madrid, 28031, España

\* Autor principal, dirección de correo electrónico: edibastos@hotmail.com

### ABSTRACT

*Air pollution is an important problem in large cities due to the high number of vehicles that daily circulate through them. The objective of this work is to show the results of the predictions made for particle emissions of buses with data mining models. The database comes from tests carried out in real conditions on buses of the Municipal Transport Company of the city of Madrid. The Random Forests of R [1] was used for the analysis and generation of models. The sequence of the particle mass flow curve with respect to the bus speed curve was studied to define the dynamic structure of the series analyzed. Once the time lags between the two curves were defined, simple models were simulated to determine the subsets of kinematic variables that show better results (based on the values of MSE-OOB and variability explained), and later, complete models were created by adding subsets of kinematic variables chosen, the rest of available variables (environmental and load status of the bus). The choice of the final model was made based on the variability explained, the MSE-OOB and the characteristic parameters of the errors. The accuracy of model predictions was measured with the MSE and MAPE statistics. Finally, the detailed analysis of the chosen model is carried out with the importance of the variables, the distribution of the error and the confidence intervals for the predictions generated.*

*Particle emissions, Bus emissions, Kinematic cycles, Dynamic models, Random Forests*

### RESUMEN

*La contaminación del aire es un problema importante en las grandes ciudades debido al elevado número de vehículos que circulan por ellas a diario. El objetivo de este trabajo es mostrar los resultados de las predicciones realizadas para emisiones de partículas de autobuses con modelos de minería de datos. La base de datos proviene de ensayos realizados en condiciones reales en autobuses de la Empresa Municipal de Transportes de la ciudad de Madrid. Para el análisis y la generación de modelos se utilizó la herramienta estadística Random Forests de R [1]. Se estudió la secuencia de la curva de caudal másico de partículas con respecto a la curva de velocidad del bus para definir la estructura dinámica de las series analizadas. Definidos los desfases temporales entre las dos curvas se simularon modelos sencillos para determinar los subconjuntos de variables cinemáticas que presentan mejores resultados (en función de los valores de MSE-OOB y variabilidad explicada) y, posteriormente, se crearon modelos completos añadiendo a los subconjuntos de variables cinemáticas elegidas, el resto de variables disponibles (ambientales y estado de carga del autobús). La elección del modelo final se realizó en función de la variabilidad explicada, el MSE-OOB y los parámetros característicos de los errores. La precisión de las predicciones del modelo se midió con los estadísticos MSE y MAPE. Finalmente se realizó el análisis en detalle del modelo elegido con la importancia de las variables, la distribución del error y los intervalos de confianza para las predicciones generadas.*

*Emisiones de partículas, Emisiones de autobús, Ciclos cinemáticos, Modelos dinámicos, Random Forests*

### 1. Introducción

La contaminación del aire es un problema importante en las grandes ciudades debido al elevado número de vehículos que circulan por ellas a diario. En Madrid circularon más de 2,1 millones de vehículos diarios en 2017 [2]. Por ello existe un gran interés en determinar las variables que más influyen en las emisiones generadas por los motores de combustión interna alternativos (MCIA) de los vehículos, para establecer patrones de conducción que permitan minimizarlas, como en el Proyecto CÍCLOPE [3]. Los contaminantes más importantes de los MCIA son: CO, NO<sub>x</sub>, partículas (PM) e hidrocarburos (HC), mientras que el principal gas de efecto invernadero es el CO<sub>2</sub>. En este trabajo se



estudió a nivel microscópico las emisiones de PM. Se considera PM cualquier sólido o líquido presente en los gases de escape. Su composición depende del combustible y de las condiciones de funcionamiento, son formadas principalmente por aceite y combustible sin quemar, hollín, sulfatos, agua, sustancias inorgánicas, ceniza y metales. Tienen un tamaño comprendido entre 0,005 y 30  $\mu\text{m}$  y son más importantes en las emisiones de los vehículos diésel que los de gasolina.

El interés de estudios de este tipo es creciente y se encuentran estudios a niveles geográficos extensos, como COPERT [4], teniendo en cuenta el parque de vehículos y la velocidad media de cada grupo para estimar las emisiones. Estas estimaciones no son precisas porque solo consideran factores relativos al vehículo y valores medios de velocidad obviando otros aspectos relevantes como el tráfico, las paradas, las condiciones ambientales o el comportamiento del conductor y son útiles para establecer órdenes de magnitud de las mismas.

Para determinar las emisiones de forma más precisa es necesario recurrir a ensayos en condiciones controladas, en laboratorios, o en condiciones reales midiendo las emisiones generadas por el vehículo en recorridos habituales, en túneles, en recorridos urbanos, interurbanos, etc. mediante equipos embarcados en los vehículos.

En el caso de los ensayos controlados se trata de reproducir en un banco de ensayos las medidas de recorridos del vehículo en condiciones reales, que recopilan valores instantáneos de variables posicionales, cinemáticas y ambientales para crear ciclos de conducción de una zona geográfica concreta, con el objetivo final de obtener caudales de emisiones representativos de la zona estudiada. Los ensayos en laboratorio tienen la ventaja de la repetibilidad, sin embargo suelen ser menos precisos, puesto que las variables ambientales, la pendiente del terreno o el comportamiento del conductor que tanto influyen en el consumo y en las emisiones no se tienen en cuenta.

Pintos [5] desarrolló una metodología para la generación de ciclos de conducción del tráfico urbano de la ciudad de Madrid obteniendo resultados del consumo y la influencia que ejercen los diferentes tipos de microciclos y la pendiente del terreno. En Ruiz Porro et al. [6] se presentaron los resultados de modelización de los microciclos de conducción de autobuses urbanos. Pita et al. [7] modelaron sistemas de predicción de emisiones instantáneas de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y partículas en función de los ciclos cinemáticos.

Fonseca González [8] estudió el funcionamiento de los equipos portátiles de medida de emisiones en tiempo real (PEMS) identificando los problemas asociados a la medición instantánea de las variables relativas al vehículo, al entorno y a las emisiones contaminantes. Además, diseñó y construyó un nuevo dispositivo de medida, el MIVECO-PEMS.

En el proyecto ECOTRAM [9] se desarrolló una metodología para calcular las emisiones de diversos contaminantes de la flota de autobuses de la Empresa Municipal de Transportes de Madrid (EMT) (López et al. [10]).

Román de Andrés [11] desarrolló un método de optimización en la asignación de una flota de vehículos a rutas establecidas minimizando el consumo y las emisiones contaminantes.

En este estudio de las emisiones de PM, se verificó la secuencia de su curva de caudal másico con respecto a la curva de velocidad del autobús para definir la estructura dinámica de las series analizadas; se realizaron dos grupos de modelos de árboles aleatorios (*Random Forests*): un grupo de modelos denominados *sencillos* para determinar los subconjuntos de variables cinemáticas que presentan mejores resultados (en función de los valores de MSE-OOB y variabilidad explicada) y, posteriormente, se crearon los modelos *completos* añadiendo a las variables cinemáticas elegidas, el resto de variables disponibles (ambientales y estado de carga del autobús). Se eligió el modelo final en función de la variabilidad explicada, el MSE-OOB y los parámetros característicos de los errores; se midió la precisión de las predicciones con los estadísticos MSE y MAPE y se analizó el modelo elegido a través de la importancia de las variables, la distribución del error y los intervalos de confianza para las predicciones generadas. La base de datos proviene de ensayos realizados en condiciones reales sobre autobuses de la EMT.

## 2. Base de datos

La base de datos contiene datos de variables ambientales, cinemáticas, posicionales y de emisiones de 4 líneas de la EMT (C1, 27, 63 y 145) durante distintos trayectos habituales de ida y vuelta, obtenidos en dos campañas realizadas en los años 2007 y 2008. El vehículo utilizado en los ensayos es un autobús MAN, de motor de encendido por compresión (MEC), con normativa europea EURO IV.

Los ensayos fueron realizados por el INSIA en el proyecto ECOTRAM [9]]. Para la obtención de los datos se instaló en el propio vehículo un equipo PEMS Horiba OBS-2200. Se obtuvieron más de 152.000 observaciones o medidas por segundo. Las condiciones de cada ensayo son variadas ya que se han realizado a distintas horas y días, recorriendo itinerarios de ida y vuelta en las distintas líneas, con tres estados de carga (vacío, a media carga y a plena carga) y dos tipos de combustible (gasóleo y biodiesel 100% (B100)). En total se realizaron 74 ensayos, con todas las combinaciones de combustible y estado de carga. No se han realizado mediciones para el caso en que el autobús es propulsado con gasóleo a media carga.



### 3. Obtención de aceleración y sobreaceleración

La base de datos solo proporciona como variable cinemática la velocidad del autobús, siendo la aceleración una variable de influencia en la dimensión de las emisiones, se obtuvo la aceleración y la sobreaceleración a partir de las medidas de velocidades instantáneas del autobús con las ecs. (1) y (2):

$$aceleración_i = (velocidad_i - velocidad_{i-1})/\Delta t \quad (1)$$

$$sobreaceleración_i = (aceleración_i - aceleración_{i-1})/\Delta t \quad (2)$$

### 4. Modelos de predicción sin retardos de la variable respuesta

Con el fin de determinar si existe una estructura dinámica en el problema se comenzó por el ajuste de modelos *sencillos*, sin y con desfases de las variables cinemáticas (velocidad, aceleración y sobreaceleración). Para el ajuste de los modelos dinámicos *completos*, se han introducido además de las variables cinemáticas, otras explicativas de tipo ambientales (temperatura, presión y humedad) y de estados de carga. Para la identificación de los modelos se definió la siguiente nomenclatura: ModeloPartXYZ, donde X es el desfase en la variable velocidad, Y el de la aceleración y Z el de la sobreaceleración, con respecto al caudal de PM, respectivamente.

En los apartados siguientes se describen los distintos modelos para la variable respuesta caudal másico de PM, con y sin retardos, en sus dos versiones: *sencillos* y *completos*. Se realizó el análisis comparativo del conjunto de modelos, para la elección del modelo final.

#### 4.1. Identificación de las variables cinemáticas

Se realizó el estudio de las curvas de velocidad y de caudal másico de PM (Figura 1). Se observa que las zonas de crecimiento de ambas curvas aparecen con un cierto grado de solapamiento que han requerido realizar un trabajo de modelado de las combinaciones de variables cinemáticas para la sincronización con el caudal de PM. Se dejó un margen de seguridad en instantes por delante y por detrás de las medidas de emisión con el objetivo de determinar el retardo de la curva cinemática respecto a la de caudal.

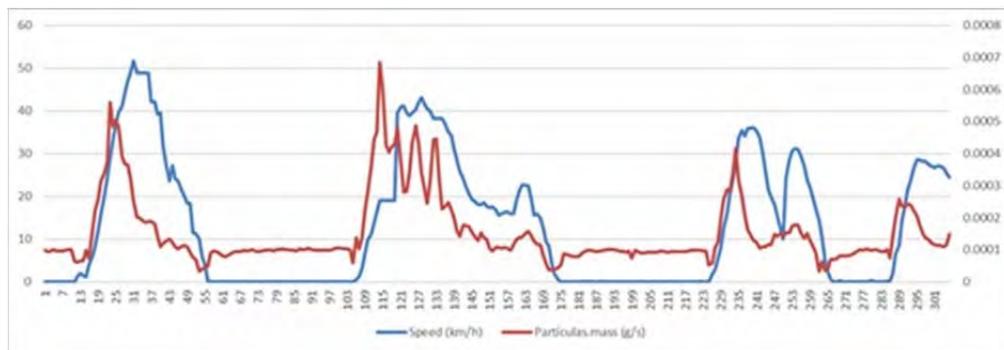


Figura 1 - Curvas de velocidad y caudal de partículas pertenecientes a un fragmento de un ensayo de B100.

#### 4.2. Modelos sencillos con variables cinemáticas sin y con sincronización con el caudal de PM

Se crearon modelos *sencillos* solo con las variables cinemáticas como variables de entrada, a partir de datos de un único ensayo, para validar los desfases entre las curvas cinemáticas y del caudal de PM. Se simuló los modelos de bosques aleatorios (RF) obtenidos a partir de 1.881 observaciones, con valores de 1 para *mtry* y 500 para *ntree*, y se eligieron las mejores combinaciones en función de los valores del MSE-OOB y de la variabilidad explicada. Se probaron también valores de variables cinemáticas de instantes anteriores a la emisión, cuyos modelos están indicados con el sufijo Pre (Tabla 1).

Los mejores resultados fueron obtenidos para un retardo de 1 segundo de las curvas cinemáticas con respecto a la de PM. También se consiguió un buen resultado con las variables cinemáticas sin retardo, por lo que se eligieron ambos tipos como candidatos para la elección del modelo final.


**Tabla 1 – Resultados de MSE-OOB y Var. Explicada para 10 modelos de Partículas con variables cinemáticas.**

Modelo	MSE-OOB	Var. Explicada (%)
ModeloPartPre22	1,715*10 <sup>-8</sup>	32,78
ModeloPartPre11	1,49*10 <sup>-8</sup>	41,58
<b>ModeloPart00</b>	1,204*10 <sup>-8</sup>	52,79
<b>ModeloPart11</b>	1,152*10 <sup>-8</sup>	54,83
ModeloPart22	1,251*10 <sup>-8</sup>	50,97
<b>ModeloPart01</b>	1,191*10 <sup>-8</sup>	53,32
ModeloPart12	1,204*10 <sup>-8</sup>	52,81
<b>ModeloPart000</b>	1,063*10 <sup>-8</sup>	55,68
<b>ModeloPart111</b>	1,021*10 <sup>-8</sup>	57,43
<b>ModeloPart011</b>	1,031*10 <sup>-8</sup>	57,02

### 4.3. Modelos completos

Se construyeron modelos *completos* incorporando las variables ambientales y los estados de carga a los modelos *sencillos* que presentaron los mejores resultados (6 modelos en Tabla 1, en negrita). Se utilizaron 32.680 observaciones que mediante el método del *Holdout* fueron divididas en *training set* con 90% de los datos y *test set* con el 10%, con valores de 2 para *mtry* y 500 para *ntree*. La Tabla 2 presenta el rango de valores para las variables incluidas en los modelos. El modelo ModeloPart11\* presentó los mejores resultados, siendo elegido como modelo final. Tiene valor de MAPE ligeramente superior al del ModeloPart00\*, pero la diferencia es mínima, teniendo el primero mejores resultados para los otros tres criterios (Tabla 3). Por tanto, se concluye que el desfase entre ambas curvas se encuentra en el intervalo 0-1 segundos. Los valores de los criterios evaluadores para los modelos completos muestran cómo los modelos son mejores sin la variable sobreaceleración.

Seleccionado el modelo ModeloPart11\* se analizó la importancia de las variables y los errores de predicción.

**Tabla 2 – Variables de los modelos completos de Caudal de partículas.**

Variable	Tipo	Unidades	Rango valores
Velocidad	Núm. Continua	Km/h	0 – 86,9
Aceleración	Núm. Continua	m/s <sup>2</sup>	-21,27 – 16,94
Sobreaceleración	Núm. Continua	m/s <sup>3</sup>	-38,22 – 25,44
Temperatura	Núm. Continua	°C	16,52 – 35,9
Presión	Núm. Continua	KPa	93,51 – 93,52
Humedad	Núm. Continua	%	15,97 – 60,58
Carga	Catórica	-	Vacío – Medio
Caudal Partículas	Núm. Continua	g/s	5,39*10 <sup>-7</sup> – 2,56*10 <sup>-3</sup>

**Tabla 3 – Evaluación de la precisión de los modelos completos sin retardos de la variable respuesta.**

Modelo	MSE-OOB	Var. Explicada (%)	MSE	MAPE
ModeloPart00*	3,246*10 <sup>-9</sup>	84,72	2,724*10 <sup>-9</sup>	0,368
<b>ModeloPart11*</b>	<b>3,129*10<sup>-9</sup></b>	<b>85,27</b>	<b>2,680*10<sup>-9</sup></b>	<b>0,370</b>
ModeloPart01*	3,153*10 <sup>-9</sup>	85,16	3,267*10 <sup>-9</sup>	0,375
ModeloPart000*	3,447*10 <sup>-9</sup>	83,78	3,609*10 <sup>-9</sup>	0,413
ModeloPart111*	3,160*10 <sup>-9</sup>	85,12	3,228*10 <sup>-9</sup>	0,419
ModeloPart011*	3,226*10 <sup>-9</sup>	84,41	3,257*10 <sup>-9</sup>	0,421



#### 4.4. Importancia de las variables

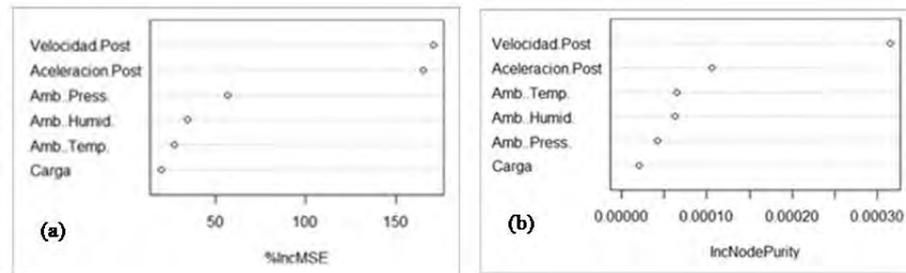


Figura 2 – Evaluación de la importancia de las variables de ModeloPart11\*. (a) Según el incremento en el MSE tras las permutaciones. (b) Según la reducción que generan en la impureza nodal.

Las variables velocidad y aceleración se sitúan por delante del resto, indicando la relevancia que las variables cinemáticas representan para el modelo de partículas, seguidas por las ambientales y el estado de carga en último lugar (Figura 2). Los estadísticos MSE y el de impureza del nodo de Gini, coinciden en el orden de las variables explicativas del modelo pero el MSE discrimina de forma muy clara la importancia que las variables cinemáticas tienen frente al resto.

#### 4.5. Análisis de errores de predicción

La Figura 3 muestra la distribución del error relativo para las observaciones del *test* (mediana del error en amarillo y en el rojo la media), teniendo el histograma una cola larga que penaliza al valor del MAPE. La mediana se sitúa en 0,12, lo cual indica que una gran parte de los datos del *test* se ajustan de forma muy precisa a la realidad con el modelo elegido. Más del 50% de los datos tiene un error relativo inferior al 15%. Los valores altos del error relativo de la cola del histograma penalizan el error medio, alcanzando este el valor final de 0,37.

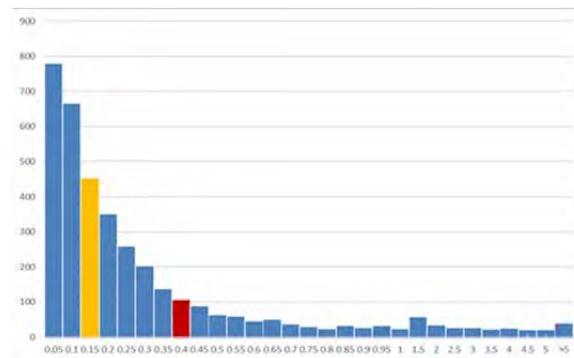
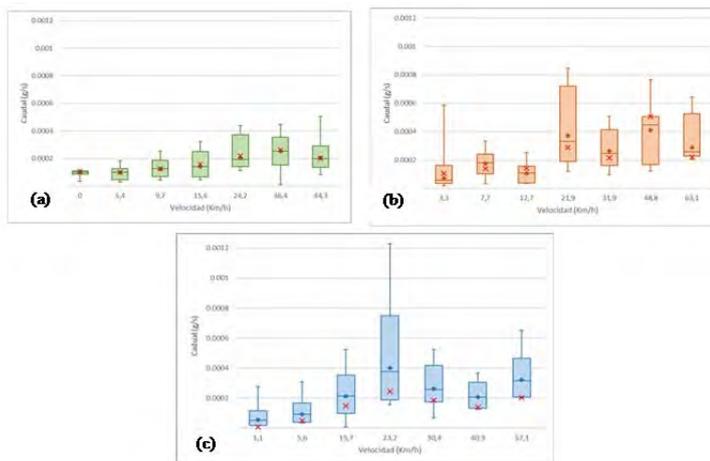


Figura 3 – Histograma del error relativo en la predicción de las observaciones del *test set* de ModeloPart11\*.

#### 4.6. Intervalos de confianza

Se construyeron los intervalos de confianza de las predicciones de tres grupos diferentes de observaciones del conjunto de *test* atendiendo al error relativo que generan (inferior a la mediana ( $<0,12$ ), entre la mediana y la media ( $0,12$  a  $0,37$ ) y superior a la media ( $>0,37$ ), Figuras 4a, 4b, y 4c, respectivamente), para estudiar las diferencias en la precisión de las predicciones del modelo seleccionado. Se eligió el nivel de confianza de 95%, así los intervalos representan el rango de valores para los cuales el modelo predice el valor de la variable respuesta con una probabilidad de error del 5%. El máximo caudal de PM medido está en torno a los  $0,0025$  g/s. para valores nulos de velocidad en comparación con el resto de valores de velocidad. Este hecho se repite para todos los modelos e indica que el modelo se ajusta bien en los casos en los que la variable velocidad toma este valor. El modelo genera predicciones precisas para las situaciones en las que el motor está a ralentí.



**Figura 4 – Diagrama de cajas para un nivel de confianza del 95% para predicciones del *test set* de ModeloPart11. (a) Error relativo inferior a la mediana. (b) Comprendido entre la mediana y el MAPE. (c) Superior al MAPE**

### 5. Modelos de predicción con retardos de la variable respuesta

Para predecir las emisiones instantáneas, hay que conocer los estados anteriores del caudal emitido y los valores que toman las variables cinemáticas en el instante estudiado. Los modelos de predicción que consideren valores anteriores del caudal emitido se conocen como “modelos de predicción con retardos de la variable respuesta”. Como variables explicativas se tomaron las cinemáticas, ambientales, estado de carga y el valor del caudal medido en el segundo anterior y en los dos segundos anteriores.

Se aplicó la técnica *Holdout* a las 30.530 observaciones disponibles, 27.477 para la fase de *training* y 3.053 para la fase de *test*. Se tomó 500 para *n<sub>tree</sub>* y 2 para *m<sub>try</sub>*. Los resultados se presentan en la Tabla 4, cuya tercera fila muestra los resultados para el modelo sin retardos con el fin de comparación (ModeloPart11\*).

**Tabla 4 – Resultados de la evaluación de la precisión de los modelos con retardos de la variable de respuesta para el ajuste de las emisiones de partículas.**

Modelo	MSE-OOB	Var. Explicada (%)	MSE	MAPE
ModeloPart11Ret1	1,869*10-9	91,21	1,291*10-9	0,198
<b>ModeloPart11Ret2</b>	1,836*10-9	91,37	2,240*10-9	0,195
ModeloPart11*	3,129*10-9	85,27	2,680*10-9	0,370

Se produce una mejora notable en ambos modelos que incluyen valores del retardo del caudal de PM. La variabilidad explicada pasa del 85% a valores superiores al 91% y el MAPE se reduce casi a la mitad, pasando de 0,37 a valores inferiores a 0,2. El modelo con los dos retardos es mejor, aunque la diferencia con respecto al que solo incluye el primero es muy poco significativa.

#### 5.1. Importancia de las variables

Ambos criterios MSE y Gini proporcionan resultados diferentes para el orden de importancia de las variables. Según el criterio del MSE, la siguiente variable tras la aceleración es el caudal inmediatamente anterior, seguida de la velocidad, del caudal con dos periodos de retardo, presión, temperatura, carga y humedad. Para el segundo criterio la variable más importante es el caudal inmediatamente anterior seguida del caudal con dos periodos de retardo, las variables cinemáticas (velocidad y aceleración), las ambientales (temperatura, humedad y presión) y la variable estado de carga en último lugar.

Aunque difieren el orden en que las variables aparecen, los dos criterios coinciden en elegir entre los 4 primeros puestos, los retardos del caudal para la explicación de las emisiones, junto a las dos variables cinemáticas y en este modelo el criterio de Gini distingue de forma clara dos grupos de variables por nivel de importancia.

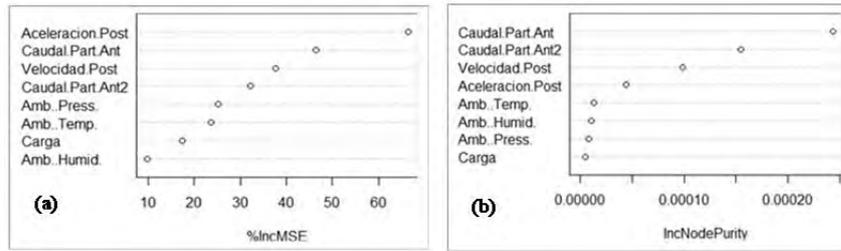


Figura 5 – Evaluación de la importancia de las variables de ModeloPart11Ret2. (a) Según el incremento en el MSE tras las permutaciones. (b) Según la reducción que generan en la impureza nodal.

5.2. Análisis de errores de predicción

Los errores en las predicciones para las observaciones del *test set* generadas por el ModeloPart11Ret2 presentan la distribución mostrada en la Figura 6 (en amarillo la mediana del error y en el rojo, la media). El aspecto es similar al del histograma del ModeloPart11\* pero con un efecto de cola muy suavizado. La media se reduce de 0,37 a 0,195 tras la introducción de los retardos de los caudales como variables explicativas. La mediana pasa de 0,12 a un valor de 0,069. Ambas reducciones son de magnitudes similares, lo que indica que la mejora en el efecto de cola es equiparable a la mejora en la predicción de aquellas observaciones cuyos errores ya eran bajos.

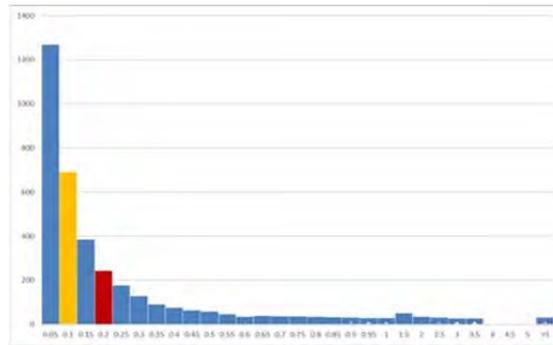


Figura 6 – Histograma del error relativo en la predicción de las observaciones del *test set* de ModeloPart11Ret2.

5.3. Intervalos de confianza

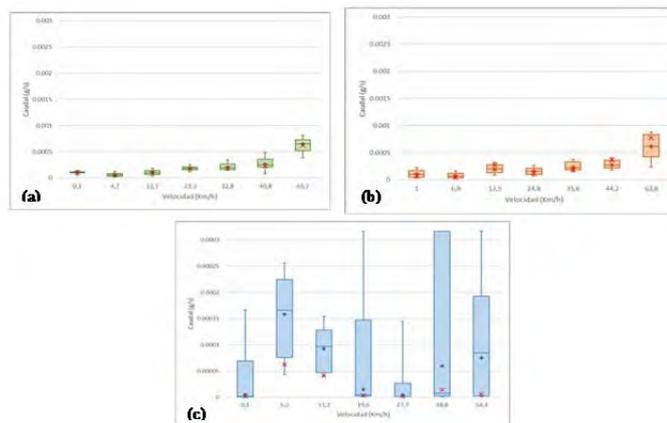


Figura 7 – Diagrama de cajas con un nivel de confianza del 95% para predicciones del *test set* de ModeloPart11Ret2. (a) Error relativo inferior a 0,2. (b) Comprendido entre 0,2 y 1. (c) Superior a 1.



La Figura 7 muestra los intervalos de confianza en función del error relativo para las predicciones de las observaciones del *test set* del ModeloPart11Ret2 ( $< 0,2$ ; de  $0,2$  a  $1$  y  $> 1$ , Figuras 7a, 7b y 7c, respectivamente). Si se comparan los diagramas de estas figuras con los ModeloPart11\* (Figura 4), se observa una reducción importante de la longitud de los intervalos para las observaciones con errores inferiores a 1, lo que indica una precisión elevada de ModeloPart11Ret2 en la predicción de caudal emitido. Para las observaciones con errores relativos altos, no se aprecia reducción alguna de la longitud de los intervalos. Esto indica que sigue habiendo una parte de los datos para los que el modelo genera elevadas imprecisiones en la predicción.

## 6. Conclusiones

La comparación de los resultados obtenidos muestra una mejora notable con la introducción de los retardos del caudal emitido como variable explicativa, como demuestran los valores de la variabilidad explicada, el MAPE, la reducción en el efecto de cola de los histogramas del error relativo y la reducción en la amplitud de los intervalos de confianza.

Los criterios para el estudio de importancia de las variables proporcionan resultados diferentes debido a la complejidad de la definición y cálculo de este concepto así como a las diferencias entre ambos métodos. No obstante muestran resultados análogos si la importancia se analiza por bloques o grupos de variables. En los modelos sin retardos los estadísticos MSE y Gini, coinciden en el orden de las variables pero el MSE discrimina de forma muy clara la importancia que las variables cinemáticas tienen frente al resto. En los modelos con retardos los dos criterios coinciden en elegir entre los 4 primeros puestos los retardos del caudal y las variables cinemáticas, y el criterio de Gini distingue de forma clara las variables que modelan la dinámica de la serie y las cinemáticas.

La variable estado de carga se sitúa en último lugar, probablemente sea debido a su carácter de variable categórica, a diferencia del resto de variables que son numéricas, tratándola los *Random Forests* de diferente forma.

## Agradecimientos

Este trabajo se realizó en el proyecto de investigación CÍCLOPE (Sistema de optimización de ciclos urbanos de conducción. Aplicación a la generación de patrones adaptados a exigencias medioambientales y situaciones de explotación de flotas de vehículos) financiado por el Plan Nacional 2016-2018 del Ministerio de Economía y Competitividad- Programa Estatal de Investigación, Desarrollo e Innovación Orientada a los Retos de la Sociedad. TRA2015-68803-R. Los autores también agradecen a la Comunidad de Madrid, que contribuyó a este trabajo a través del Programa SEGVAUTO 4.0-CM (S2018-EMT-4362).

## Referencias

- [1] R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/> (2019).
- [2] Ayuntamiento de Madrid. <http://www-2.munimadrid.es/CSE6/control/seleccionDatos?numSerie=15010000012>
- [3] Proyecto CÍCLOPE: Sistema de optimización de ciclos urbanos de conducción. Aplicación a la generación de patrones adaptados a exigencias medioambientales y situaciones de explotación de flotas de vehículo. TRA2015-68803-R. Financiado por la convocatoria Ministerio de Economía y Competitividad (2015-2018).
- [4] Ntziachristos et al., Ntziachristos, L., Gkatzoflias, D., Kouridis, Ch., Samaras, Z., 2009. COPERT (COmputer Programme to calculate Emissions from Road Transportation): A European Road Transport Emission Inventory Model. Information Technologies in Environmental Engineering. In: Proceedings of the 4th International ICSC Symposium Thessaloniki, Greece, May 28–29, 2009. pp 491–504. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-88351-7\\_37](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-88351-7_37). (2009)
- [5] Pintos B., “Desarrollo de una metodología para generación de ciclos de conducción representativos del tráfico real urbano. Aplicación para medida de emisiones en banco de rodillo”. Proyecto de Fin de Carrera. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, (2011).
- [6] Ruiz Porro J., Cerededa G., Mira J.M., Arenas B., Aparicio F., “Modelos de identificación de ciclos de conducción urbana de autobuses”. 13º Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica – CIBEM 2017, Lisboa, Portugal, 23-26 de Octubre, (2017)
- [7] Pita V., Mira J.M., Arenas B., Aparicio F., “Modelos no paramétricos de estimación de emisiones de autobuses en recorridos urbanos”. 13º Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica – CIBEM 2017, Lisboa, Portugal, 23-26 de Octubre, (2017)
- [8] Fonseca González N.E., “Aspectos de la medición dinámica instantánea de emisiones de motores. Aplicación al desarrollo de un equipo portátil y una metodología para estudios de contaminación de vehículos en tráfico real”.



- Tesis Doctoral. ETSI Industriales, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, (2012).
- [9] Proyecto ECOTRAM: Desarrollo de una metodología de análisis del consumo energético y las emisiones contaminantes producidas por el transporte público urbano de viajeros. Aplicación a la ciudad de Madrid. Plan Nacional I+D+i 2004-2007. Subprograma Nacional de tecnologías para la Gestión Sostenible Medioambiental. 2006-2008. Ministerio de Medio Ambiente. A081/2007/1-13.1.
- [10] López J.M., Jimenez F., Páez J., Flores M.N., Arenas A.N., Arenas-Ramirez B., Aparicio F. “Modelling the fuel consumption and pollutant emissions of the urban bus fleet of the city of Madrid”. (Transportation Research Part D 52: Transport and Environment Journal. pp. 112-127. Editorial: Elsevier. ISSN: 1361-9209. U.K. DOI: 10.1016/j.trd.2017.02.016 (2017)
- [11] Román de Andrés A., “Metodología para la asignación de vehículos de una flota a rutas preestablecidas”. Tesis Doctoral. ETSI Industriales, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, (2014)
- [12] Grömping U., “Variable Importance Assessment in Regression: Linear Regression versus Random Forest”. The American Statistician, 63:4, 308-319, DOI: 10.1198/tas.2009.08199, (2009).



# Vehículos Pesados



## **Estudio preliminar del comportamiento dinámico de un semirremolque cisterna ante perturbaciones impulsivas sobre sus ejes, en base a métodos numéricos**

**Facundo P. Inzeo<sup>a\*</sup>, Facundo Sosa<sup>a</sup>, Bruno E. García<sup>a</sup>, Giuliano T. Flores<sup>a</sup>, Cristian P. Domínguez<sup>a</sup>, Neoren G. Franco<sup>a</sup>, Patricio G. Arrien<sup>b</sup>, Walter F. Giordano<sup>a,b</sup>**

<sup>a</sup> Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Nicolás, Av. Colón 332, San Nicolás de los Arroyos, 2900, Argentina.

<sup>b</sup> Tanques Fangio SA, Ruta 32 km 2, Pergamino, B2700, Argentina.

\*finzeo@frsn.utn.edu.ar

### ABSTRACT

*In a context of growing need to strengthen relations between productive and academic sectors to improve the socio-economic development of our country, and with the aim of providing solutions related to the optimization of mechanical designs, based on the use of potent computer software, this paper focuses on the general development of a representative model of a road tanker for the transport of liquid fuels, in terms of its dynamic response to short-term perturbation on its axes. For this, Matlab Simulink software is used, which is suitable for the development of a numerical model of the dynamic behaviour of the named object of study. Through the bond of mutual cooperation between the company Tanques Fangio SA, a tanker manufacturer located in Pergamino, Bs. As., and the UTN-FRSN, input data needed to perform the study is capable to be determined, and it is feasible to make a finite-element analysis (FEA) to obtain the global field of stresses and deformations of the structural part of the tanker, resulting from these disturbances.*

*This preliminary study aims to lay the foundations of a representative model of the tanker, whose design was provided by the company Tanques Fangio SA, feasible to be applied to similar vehicles and capable of providing significant data for subsequent analysis of vehicle components designs.*

*The obtaining of a representative model of the tanker will be verified, with relevant analysis and design information. Although its rigorous validation will be done in a future research work, an analysis of its representativeness will be performed here, through relevant reference data.*

*Keywords: tanker, model, Matlab, FEA, numerical.*

### RESUMEN

*En un contexto de creciente necesidad de fortalecimiento de las relaciones entre los sectores productivo y académico para favorecer el desarrollo socio-económico del país, y con la finalidad de aportar soluciones relativas a la optimización de diseños mecánicos sobre la base de la utilización de herramientas computacionales, el presente trabajo se centra en el desarrollo general de un modelo representativo de un semirremolque cisterna para el transporte de combustibles líquidos, en términos de su respuesta dinámica ante perturbaciones de corta duración sobre sus ejes. Para ello, se recurre al software Matlab Simulink, idóneo para el desarrollo de un modelo numérico del comportamiento dinámico del objeto de estudio nombrado. A través del vínculo de cooperación mutua existente entre la empresa Tanques Fangio SA, de la ciudad de Pergamino, y la UTN-FRSN, se relevan y determinan los datos de entrada para dicho modelo, y se simula, a través de un análisis por elementos finitos (FEA), el campo global de tensiones y deformaciones resultantes de tales perturbaciones. Este estudio preliminar pretende sentar las bases de un modelo representativo del semirremolque cisterna, cuyo diseño fue provisto por la empresa Tanques Fangio SA, factible de aplicarse a vehículos similares y capaz de proveer datos significativos para posteriores análisis de diseños de componentes vehiculares.*

*Se verificará la obtención de un modelo representativo del semirremolque cisterna, con información de análisis y diseño relevante. Si bien su rigurosa validación se tratará en un futuro trabajo de investigación, se detallará aquí un análisis de su representatividad, a través de datos de referencia pertinentes.*

*Palabras Clave: semirremolque, cisterna, modelo, Matlab, FEA, numérico.*



## 1. Introducción

### 1.1. Generalidades

La infraestructura sobre la que se sustenta la economía de todo país, entendida como el conjunto de medios técnicos y tecnológicos por medio de los cuales se desarrolla el conjunto de actividades económicas del mismo, presenta como eje fundamental el transporte de bienes y mercancías. En el caso particular de Argentina, así como para otros tantos países, se destaca la especial predominancia del transporte terrestre de bienes y, en particular, del transporte por camiones. En dicho contexto, resulta sumamente útil, en una visión global de la actividad universitaria y productiva, aunar esfuerzos para mejorar y optimizar diseños dentro de la extensa categoría de camiones. De aquí que el objetivo general de este trabajo consiste en mejorar, en su correspondiente cuota de beneficio, las condiciones del medio productivo nacional, desde el caso particular del vínculo establecido entre la empresa Tanques Fangio S.A. de la ciudad de Pergamino (orientada al diseño de tanques cisternas) y la UTN-FRSN. En concreto, dentro de una línea de investigación orientada al rediseño y optimización de componentes vehiculares estructurales de semirremolques cisternas, este trabajo se centra en la realización de un modelo numérico del comportamiento dinámico de un diseño de dicho vehículo (Fig. 1) ante perturbaciones impulsivas sobre sus ejes, obteniendo datos de interés para futuras investigaciones orientadas a la finalidad general de la línea de investigación, y comprobando la capacidad de resistencia estructural del semirremolque ante tales fenómenos. Esta temática es de particular interés para la empresa nombrada, en vista de la optimización de estructuras portantes.

La utilización de herramientas computacionales en asistencia al análisis y diseño de componentes mecánicos, considerando el crecimiento exponencial de su potencialidad en diversidad de disciplinas (entre ellas, la ingeniería mecánica), resulta apropiada a las exigencias de la industria moderna y favorece la consecución de soluciones tecnológicas cada vez más próximas a las óptimas pertinentes. El tópico relativo al análisis computacional del comportamiento estructural de semirremolques, si bien se corresponde con una temática sumamente específica, cuenta con trabajos de investigación asociados. En el ámbito nacional, se destacan diversos artículos, entre los que se mencionan los publicados por Monti, Rossi et al [1], y Frank, Gennaro et al [2], ambos vinculados a la Asociación Argentina de Mecánica Computacional. En estos trabajos, se analiza el comportamiento del sistema estructural de un semirremolque, enfocado en la realización o ejecución de análisis por elementos finitos para evaluar su resistencia ante cargas estáticas y dinámicas, con una metodología de validación adecuada; sin embargo, en ninguno de los dos casos se consideró el escenario asociado a la interacción con una irregularidad macrogeométrica en el terreno, vinculada a una perturbación impulsiva sobre los ejes del vehículo. Para ello, es necesario desarrollar un modelo matemático de la suspensión de aquel, y evaluar con este el comportamiento ante tales factores externos. Diversos son los estudios sobre tal tópico; en un análisis simple, sin recurrir a métodos numéricos para la determinación de fuerzas de reacción variables en el tiempo, cabe mencionar el trabajo de Godoy Martos [3] quien, entre los diversos cálculos asociados al diseño de una plataforma de carga, involucra un breve análisis del comportamiento de tal estructura ante una irregularidad en el terreno. Considerando un enfoque más riguroso y ligado al objetivo del presente trabajo, se destaca el realizado por Mula Vivero [4] quien, de forma análoga, recurre al software Matlab para analizar tal comportamiento dinámico, si bien no realiza un posterior análisis por elementos finitos para determinar la resistencia satisfactoria del diseño pertinente.



**Figura 1 – Modelo de semirremolque cisterna construido por la empresa Tanques Fangio SA, objeto de estudio del presente trabajo.**



## 1.2. Objetivo y comentarios generales del objeto de estudio

El presente propone combinar las herramientas de modelización matemática del comportamiento dinámico, y la determinación del campo de tensiones asociado a una perturbación impulsiva sobre los ejes de un semirremolque, para garantizar una base de análisis del comportamiento estructural de tales vehículos ante dichos fenómenos. Para ello, se utilizará como base un modelo de semirremolque cisterna construido de aleación de aluminio, diseñado por la empresa anteriormente nombrada, cuyos detalles dimensionales y de particionado generales se muestran en las Figs. 2(a)-(c). El vehículo, diseñado para el transporte de combustibles líquidos (específicamente, nafta y gas-oil) es del tipo tronco-cónico y recto combinado, presentando una sección transversal variable de tramos circulares. Cuenta con siete compartimientos internos, separados por tabiques y, en algunos de ellos, para minimizar los efectos asociados al oleaje o *sloshing*, rompeolas. Siendo el tanque propiamente dicho, íntegramente, de aleación de aluminio 5182 (de excelentes propiedades de resistencia y deformabilidad), la estructura portante inferior se corresponde con aluminio 6061, estando constituida por elementos de refuerzo inferiores y laterales, además del falso chasis, que favorecen la adecuada distribución de la carga y rigidizan la propia estructura autoportante del tanque. Al conjunto estructural anteriormente nombrado, se suman otros subsistemas vehiculares, tales como la suspensión, el sistema de flujo del combustible correspondiente a la carga, el cableado pertinente y los elementos de seguridad, entre otros. En cuanto a su apoyo, se encuentra vinculado a una unidad tractora por medio de la denominada quinta rueda, y presenta, sobre su parte trasera, tres ejes en tándem (trídem).

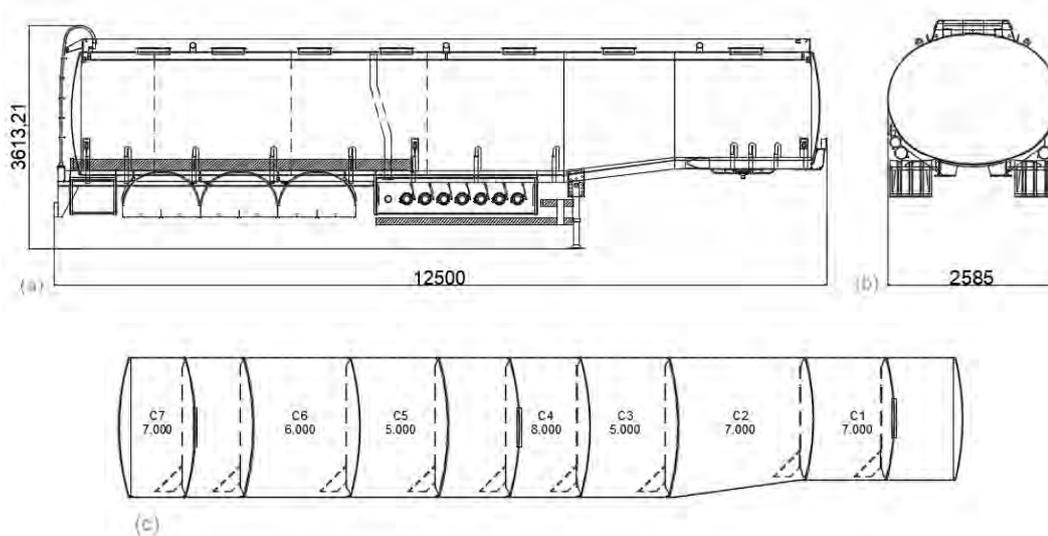


Figura 2 – (a) Vista lateral general del semirremolque cisterna; (b) vista trasera general del semirremolque cisterna; (c) particionado del tanque cisterna.

## 1.3. Software utilizado

En cuanto a las herramientas computacionales utilizadas, cabe destacar que Matlab Simulink es un entorno de programación gráfico, que funciona sobre el lenguaje de programación Matlab, constituyéndose en un software de modelización, simulación y análisis de modelos o sistemas físicos, con un enfoque sistémico, ampliamente utilizado en diversas disciplinas dentro de la ingeniería, así como en otros campos científicos y tecnológicos. Su facilidad de utilización se combina con la potencialidad del lenguaje asociado a Matlab, para poder representar sencilla y rigurosamente diferentes sistemas y fenómenos físicos. Por su parte, SolidWorks es un software CAD/CAE, esto es, orientado tanto al diseño como a la ingeniería asistida por computadora, que en el trabajo que se muestra se utilizó para la realización del modelo 3D del diseño planteado, y el posterior análisis por elementos finitos para la determinación de la capacidad de resistir ante las solicitaciones previamente mencionadas.



## 1.4. Estructuración

En relación a la estructura del artículo, en primer término, se procederá a explicar la metodología de determinación, relevamiento y/o estimación de los parámetros involucrados en el modelo matemático. Posteriormente, se detallará lo relativo a la programación bajo entorno gráfico de dicho modelo. Una vez registradas las solicitaciones resultantes de las perturbaciones impulsivas, se exportarán, como dato de entrada, para la realización de un análisis por elementos finitos, según se explicó previamente. Finalmente, se dedicará una sección para el análisis y discusión de los resultados, la cual se conjuga con el análisis de la representatividad del modelo.

## 2. Metodología

### 2.1. Determinación de los parámetros asociados al modelo matemático y conceptualización

La ejecución del modelo matemático requiere de la determinación de los valores de diferentes parámetros relativos al diseño del semirremolque cisterna; en concreto, las variables asociadas a la geometría, masa y vinculación entre elementos constitutivos. En términos generales, se establecerá una discretización del sistema vehicular, reduciéndose a un conjunto de cuerpos rígidos vinculados entre sí a través de elementos dotados de cierta rigidez y amortiguamiento, pero para ello, es necesario determinar las masas, momentos de inercia y dimensiones relevantes de dichos cuerpos rígidos, así como las características de rigidez y amortiguamiento de los vínculos entre aquellos.

La metodología general de dicha determinación se basa en el relevamiento de la información técnica provista por la empresa Tanques Fangio SA, a partir de la cual se obtienen directamente los datos a utilizar, o bien, aquellos necesarios para el cálculo y/o estimación de los requeridos.

A partir de un análisis teórico global del problema, en conjunción con posteriores revisiones de los datos requeridos, en función de desarrollos parciales del modelo matemático, se determinaron los valores de los parámetros presentados en la Tabla 1.

**Tabla 1 – Parámetros de diseño requeridos para la ejecución del modelo matemático.**

Variable	Valor	Unidad
Masa del conjunto del tanque y su estructura soporte (CR <sub>1</sub> )	40822	kg
Masa de cada eje (CR <sub>2</sub> ) con sus respectivas ruedas (CR <sub>3</sub> )	893	kg
Distancia entre ejes	1,26	m
Distancia lateral entre centros de masa de ruedas	1,903	m
Distancia entre el centro de gravedad de CR <sub>1</sub> y el eje delantero	1,83	m
Momento de inercia del CR <sub>1</sub> respecto al eje X	446876	kg . m <sup>2</sup>
Momento de inercia del CR <sub>1</sub> respecto al eje Y	26638	kg . m <sup>2</sup>
Momento de inercia del CR <sub>1</sub> respecto al eje Z	453639	kg . m <sup>2</sup>
Momento de inercia del conjunto CR <sub>2</sub> + CR <sub>3</sub> respecto al eje X	468	kg . m <sup>2</sup>
Momento de inercia del conjunto CR <sub>2</sub> + CR <sub>3</sub> respecto al eje Y	468	kg . m <sup>2</sup>
Momento de inercia del conjunto CR <sub>2</sub> + CR <sub>3</sub> respecto al eje Z	41	kg . m <sup>2</sup>
Constante de rigidez equivalente del neumático	1,021 . 10 <sup>6</sup>	N . m <sup>-1</sup>
Constante de amortiguamiento equivalente del neumático	4803	N . s . m <sup>-1</sup>
Constante de rigidez equivalente de la suspensión de un eje	3,049 . 10 <sup>5</sup>	N . m <sup>-1</sup>
Constante de amortiguamiento equivalente de la suspensión de un eje	5249	N . s . m <sup>-1</sup>
Constante de rigidez equivalente asociada al vínculo entre CR <sub>1</sub> y CR <sub>2</sub>	2,860 . 10 <sup>6</sup>	N . m <sup>-1</sup>
Constante de amortiguamiento equivalente asociada al vínculo entre CR <sub>1</sub> y CR <sub>2</sub>	1626	N . s . m <sup>-1</sup>



Debe aclararse que las notaciones  $CR_1$ ,  $CR_2$  y  $CR_3$  se corresponden con la designación abreviada de los cuerpos rígidos indicados, según cada caso, en la Tabla 1, los cuales, en conjunto, conforman el sistema vehicular en estudio.

Cabe mencionar que, en el planteamiento teórico del modelo, se establecen ciertas simplificaciones útiles y adecuadas, tales como la consideración de tres categorías de cuerpos rígidos (estos constituyen un sistema físico representativo que, en términos rigurosos, en la realidad, es deformable, según infinitos grados de libertad); la simetría longitudinal del sistema vehicular (si bien el conjunto estructural, en términos del diseño teórico, verifica dicha simetría, la consideración de los restantes elementos del semirremolque anulan tal rigurosidad de la condición de simetría); la linealización de la rigidez y el amortiguamiento de los vínculos entre los cuerpos rígidos, entre otras. El trabajo realizado por Mula Vivero [4] tiene en cuenta la primera y tercera de estas simplificaciones, obteniendo resultados satisfactorios; en cuanto a la condición de simetría, el desvío se juzga irrelevante, teniendo en cuenta, como principal factor de análisis, que la masa de los elementos categorizados como accesorios, principales causantes de dicha desviación, representan aproximadamente el 2,3 % de la masa total del vehículo; además, las simulaciones por elementos finitos realizadas sobre el modelo completo del semirremolque no verifican diferencias apreciables con respecto al modelo asociado a una mitad simétrica del mismo.

La perturbación impulsiva sobre una rueda determinada de un eje se modeliza a través de un desplazamiento instantáneo de la misma, en dirección vertical. Esta condición nos permite obtener, desde un enfoque conservador, una carga de reacción superior a la que se verificaría en términos reales, dado el transcurso de un determinado intervalo de tiempo para la realización de dicho desplazamiento. Esta simplificación se fundamenta, entonces, en el carácter conservador de la misma. Se plantearán valores típicos, correspondientes a 25 mm, 50 mm, 75 mm y 100 mm, a partir de los cuales se extrapolan los resultados asociados a posibles valores superiores. La perturbación se considera aplicada sobre una de las ruedas del eje trasero del vehículo, considerando que, de acuerdo a la experiencia de la empresa Tanques Fangio SA, es la que ha traído mayores inconvenientes de fallas asociadas, juzgadas como causa, en parte, de este fenómeno.

## 2.2. Desarrollo del modelo matemático en Matlab Simulink

Consolidados los datos de variables de diseño relevantes, se procedió a elaborar el programa asociado al modelo de comportamiento dinámico del semirremolque cisterna en estudio, bajo el entorno de programación gráfico brindado por el software Matlab Simulink. Concretamente, el proceso de programación consiste en definir bloques con propiedades y características específicas, y sus vínculos, conformando así el denominado diagrama de bloques del programa, el cual se traduce, en un lenguaje de menor nivel, en líneas de código Matlab. En líneas generales, a través de dicha red gráfica de bloques, se vinculan ecuaciones de la mecánica clásica asociadas al comportamiento global de los cuerpos involucrados.

Estrictamente, se definieron, primeramente, módulos de entrada, asociados a la carga de los datos relevados en la sección anterior. Vinculados estos a los bloques representativos de los cuerpos rígidos nombrados, mediante otros bloques y relaciones representativas de los vínculos físicos entre ellos, se ensamblan las ecuaciones de movimiento individuales, a partir de las cuales, mediante la definición de módulos de salida, es posible obtener información tal como posiciones, velocidades, aceleraciones y fuerzas en función del tiempo, en diferentes posiciones del modelo.

Como ejemplo de comprensión del desarrollo de la programación, se muestra, en la Fig. 3, la parte del diagrama de bloques representativa del vínculo entre un eje ( $CR_2$ ) y el conjunto del tanque cisterna y su estructura soporte ( $CR_1$ ). En la imagen, se puntualiza sobre los bloques asociados a tales cuerpos, y los correspondientes a la definición de los grados de libertad relativos, la rigidez y la amortiguación asociada a su vínculo (suspensión).

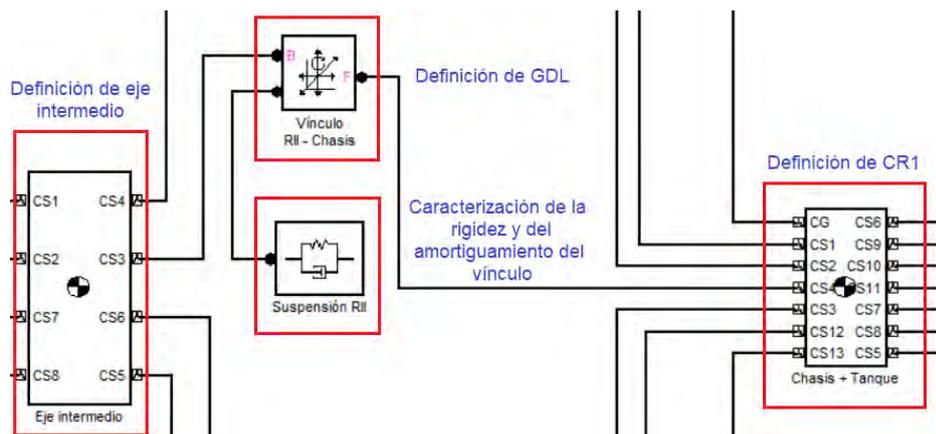
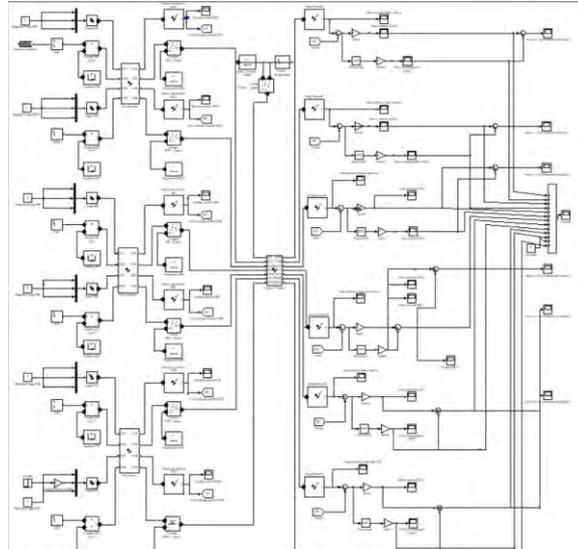


Figura 3 – Parte del diagrama de bloques asociada a la definición de la relación física entre  $CR_1$  y  $CR_2$ .



La definición del conjunto de bloques utilizados resulta prohibitiva, en términos de la extensión requerida de este artículo. Se limita, a continuación, a presentar una vista global en miniatura de la red de bloques completa, con el único fin de ilustrar la extensión del programa (Fig. 4).

El solver utilizado es el denominado ode45, el cual recurre a los métodos de Runge-Kutta para la resolución de las ecuaciones involucradas en el programa.



**Figura 4 – Vista en miniatura de la red de bloques completa, correspondiente al modelo matemático del comportamiento dinámico del semirremolque cisterna en estudio.**

Mediante su ejecución, es posible determinar la fuerza de reacción sobre la rueda perturbada en función del tiempo, entre otros parámetros dinámicos de interés.

### ***2.3. Desarrollo del análisis por elementos finitos (FEA), de verificación estructural***

Una vez extraídos los valores máximos de las cargas, éstos pueden exportarse para la realización de un análisis por elementos finitos que tenga en cuenta, por un lado, las solicitaciones de la carga a transportar (asociada a un campo de tensiones con una distribución lineal), y por el otro, la fuerza impulsiva calculada.

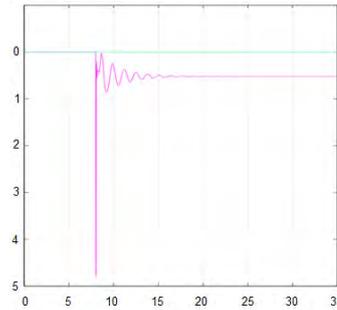
Previamente a la ejecución del análisis propiamente dicho, se procedió a la realización de un adecuado pre-procesamiento, correspondiente al acondicionamiento de la geometría del modelo 3D provisto por la empresa Tanques Fangio, la definición de los materiales pertinentes, la aplicación de las cargas anteriormente especificadas, la consideración de vínculos representativos entre los elementos constitutivos del sistema vehicular y de apoyos igualmente proyectados a los reales, la definición de una malla con una calidad adecuada (a partir del análisis de los parámetros correspondientes a la relación de aspecto y la distorsión de los elementos de la discretización nombrada), y la elección de un solver adecuado, acorde a las prestaciones del hardware utilizado (concretamente, se recurrió a un solver iterativo).

Debe tenerse en cuenta que la presión considerada, de acuerdo a la norma técnica europea de referencia, EN 13.094, se distribuye linealmente, con un máximo de 69,914 kPa sobre la parte inferior del tanque, correspondiente a la presión de prueba del mismo, calculada a partir de la densidad del líquido a transportar, su presión de vapor, la profundidad máxima del tanque y la presión de apertura de la válvula de alivio.

Posteriormente, se ejecutó el análisis pertinente, obteniéndose resultados relevantes asociados a la capacidad de resistencia del conjunto estructural ante tales solicitaciones.

## **3. Analisis y discusión de los resultados**

En lo relativo al modelo matemático del comportamiento dinámico del semirremolque cisterna, se obtuvieron, en términos amplios, los valores de posición, velocidad, aceleración y fuerza neta sobre cada rueda y sobre cada centro de gravedad de los cuerpos definidos, en función del tiempo, para cada desplazamiento instantáneo definido. Estrictamente, en términos del objetivo del presente trabajo, se logró registrar la fuerza de reacción sobre la rueda perturbada, en función del tiempo, y específicamente, su valor de pico (Fig. 5).



**Figura 5 – Variación en función del tiempo de la fuerza neta sobre la rueda perturbada (rueda trasera derecha) (escala horizontal: s; escala vertical: 10<sup>4</sup> N).**

En términos del análisis de la representatividad del modelo estudiado, cabe destacar que se obtienen resultados acordes con la experiencia práctica y en correspondencia con lo establecido en diferentes bibliografías. De acuerdo a la gráfica de posición en función del tiempo del centro de gravedad del vehículo, se registra un período de oscilación de 1,36 s, muy próximo al establecido en la bibliografía asociada al tema para tanques con geometría similar (se supuso un valor de 1,4 s para el cálculo de la constante de amortiguamiento del vínculo entre CR<sub>1</sub> y CR<sub>2</sub>), y un cese de variaciones perceptibles luego de aproximadamente 2,37 segundos como media para los diferentes escalones, lo cual se condice aproximadamente con la experiencia cotidiana.

En la Tabla 2 se registran los valores de pico de la reacción anteriormente nombrada, obtenidos para diferentes desplazamientos instantáneos de la rueda perturbada.

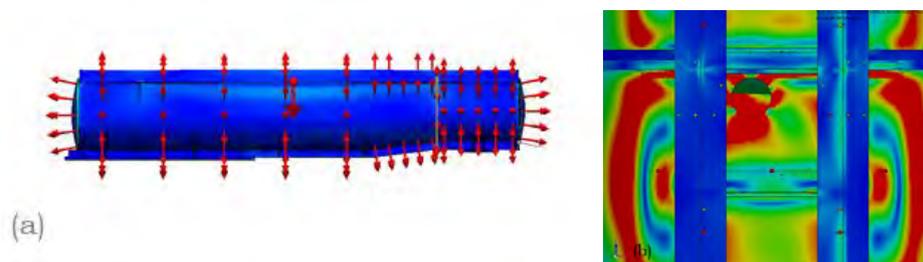
**Tabla 2 – Reacciones máximas sobre la rueda perturbada, para diferentes desplazamientos instantáneos.**

Desplazamiento (mm)	Valor	Unidad
25	11980	N
50	23928	N
75	35898	N
100	47862	N

A partir de los datos de la tabla anterior, es posible obtener la siguiente ecuación lineal (Ec. 1) de estimación de la carga máxima, válida exclusivamente para el modelo estudiado, en función del desplazamiento instantáneo considerado (en la misma, el desplazamiento se considera en milímetros, y la fuerza, en newtons).

$$F = 478,46 \Delta L + 16 \text{ (N)} \quad (1)$$

En lo que respecta al análisis por elementos finitos, objetivo secundario de este trabajo, en términos de verificar la adecuada resistencia del conjunto estructural, y desde el enfoque conservador de considerar la carga de reacción pertinente a un desplazamiento de 200 mm, los resultados obtenidos son satisfactorios, reduciéndose lo más relevante de estos a lo presentado en la Fig. 6 y en la Tabla 3.



**Figura 6 - (a) vista del campo de tensiones global del conjunto estructural; (b) detalle del campo de tensiones localizado en la zona de la perturbación (vista inferior).**



**Tabla 3 – Resultados relevantes del análisis por elementos finitos.**

Parámetro	Valor	Unidad
Tensión de Von Mises máxima	95,6	MPa
Tensión de Von Mises media	20,87	MPa
Tensión de Von Mises máxima en zona próxima a la perturbación	42,10	MPa
Desplazamiento máximo (URES)	5,52	mm
Coefficiente de seguridad local	3,68	-

En términos de su validación, se recurrió a la utilización del ejemplo asociado a un recipiente sometido a presión, provisto por la biblioteca del software SolidWorks. En el mismo, a partir de la modificación de la geometría por defecto en la correspondiente al tanque cisterna, sometiéndolo a las presiones consideradas en el anterior análisis, y con un mallado análogo, se obtuvo un valor de tensión media de 18,59 MPa. Considerando la proximidad entre los valores de dicho parámetro para ambos casos de estudio, y teniendo en cuenta la verificación de un valor necesariamente mayor para el primer caso, en correspondencia con la aplicación de la carga impulsiva, se juzga una modelización idónea del tanque.

#### 4. Conclusión

La metodología desarrollada en el presente trabajo ha permitido obtener un modelo preliminar provisoriamente confiable y representativo del comportamiento dinámico-estructural del diseño de semirremolque cisterna considerado, de acuerdo al análisis de representatividad correspondiente. En efecto, se ha obtenido, a partir de herramientas computacionales, información confiable y sumamente útil para el análisis del diseño del vehículo nombrado, fácilmente aplicable a otros similares. Asimismo, se ha calculado una satisfactoria resistencia del conjunto estructural ante las perturbaciones indicadas.

La estricta validación de los resultados se conviene en realizar, como se comentó previamente, en futuros trabajos de investigación, asociados a cálculos analíticos y/o estudios empíricos de contrastación. Aun así, en base al análisis detallado de los resultados, se considera, provisoriamente, la obtención de un modelo matemático confiable.

#### Agradecimientos

Los autores agradecen la significativa y solidaria colaboración de la empresa Tanques Fangio SA de la ciudad de Pergamino, provincia de Buenos Aires, por los datos técnicos y modelos aportados; de la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Tecnológica Nacional, por el soporte financiero al proyecto de código TVUTNSN0004419, designado "Análisis de fallas en semirremolques cisternas construidos en aleaciones de aluminio", y de la investigadora Ing. Marta G. Caligaris, por su aval y apoyo al grupo de investigación Gemeco (Grupo de Estudio de Mecánica Computacional).

#### Referencias

- [1] Monti Juan E., Rossi Sebastián, Eliach Jorge J. and Bourges Gastón, "Análisis del comportamiento mecánico estructural de un prototipo de semirremolque sometido a carga estática vertical", *Mecánica Computacional Vol XXXV*, 2245-2259, (2017).
- [2] Franck Gerardo, Gennaro Sergio, Lonardi Bruno, Eichborn José and Bruno Alejandro, "Análisis dinámico de un chasis de semirremolque de servicio pesado", *Mecánica Computacional Vol XXVIII*, 503-517, (2009).
- [3] Godoy Martos José A., "Diseño, cálculo y dimensionado de una plataforma de carga de 17 T", *Escuela Politécnica Superior de Linares, Universidad de Jaén*, (2016).
- [4] Mula Vivero Iván, "Estudio del comportamiento dinámico de un vehículo utilizado la herramienta semmechanics de Matlab", *Escuela Politécnica Superior, Universidad Carlos III de Madrid*, (2009).



# Análisis de la siniestralidad por alcance en vehículos pesados en la Provincia de Santa Fe en el período comprendido entre 2012 y 2016

*Ivan Alejandro Sorba<sup>a</sup>, Daniel Di Benardini<sup>a</sup>, Clara Bendahan<sup>a</sup>, Mauro Giancarelli<sup>a,\*</sup>*

<sup>a</sup> GCETRAM UTN FRFSF, Lavaisse 610, Santa Fe 3000, Argentina

\* Ivan Alejandro Sorba, dirección de correo electrónico: iasorba@hotmail.com

## ABSTRACT

*The accidents that are recorded by rear end collisions between passenger vehicles and tractor-trailers vehicles can have fatal consequences mainly due to the lack of compatibility between these vehicles. Although the participation in the road accidents of the heavy vehicles is low, these units are very little compatible with the other vehicles due to their enormous mass and the typical open construction in side and rear.*

*In the present work and, from the data provided by the APSV of the province of Santa Fe on the accidents that occurred between 2012 and 2016, a descriptive statistical report has been compiled in order to know in greater depth the problems that arise in the accidents in which heavy vehicles are involved when they are impacted in their rear by passenger vehicles.*

*The APSV provides a "raw" data sheet in which the road accidents are detailed, which include different variables that are surveyed at the time of the accident. Therefore, it is necessary to study, analyze and filter those accidents that involve heavy vehicles in collisions by scope. The parameters that are considered for the present study are: Number of injured and their severity, location, vehicles involved, date and day of the week, conditions of visibility, climate, road condition, and the evolution of these variables in the years in study.*

*The results obtained with this descriptive statistical analysis of the problem, are useful to know and quantify the magnitude of this type of accidents and the importance of carrying out a review and adaptation of the rear protection systems of heavy vehicles that travel along the routes and in this way reduce the consequences of them.*

*Keywords: Rear end collisions, heavy vehicles, bumper, underride protection*

## RESUMEN

*Los siniestros que se registran por colisiones por alcance entre vehículos livianos y pesados pueden tener consecuencias fatales, debido principalmente a la falta de compatibilidad entre los mismos. Aunque la participación en los siniestros de los vehículos pesados es baja, estas unidades son muy poco compatibles en el caso de colisión debido a su enorme masa y la típica construcción abierta en paredes laterales y traseras.*

*En el presente trabajo y, a partir de los datos provistos por la APSV de la provincia de Santa Fe sobre los siniestros ocurridos entre los años 2012 y 2016, se ha confeccionado un informe estadístico descriptivo a efectos de conocer con mayor profundidad la problemática que se presenta en los siniestros en los cuales se ven involucrados vehículos pesados al ser impactados en su parte trasera por vehículos de menor porte.*

*La APSV brinda una planilla de datos "crudos" en los cuales se detallan los siniestros viales que incluyen distintas variables que son relevadas en el momento del accidente. Por ende, es necesario estudiar, analizar y filtrar aquellos accidentes que involucren vehículos pesados en colisiones por alcance. Los parámetros que se consideran para el presente estudio son: Cantidad de lesionados y gravedad de los mismos, localización, vehículos involucrados, fecha y día de la semana, condiciones de visibilidad, clima, estado de la calzada, y la evolución de estas variables en los años en estudio.*

*Los resultados obtenidos con este análisis estadístico descriptivo de la problemática, son de utilidad para conocer y cuantificar la magnitud de este tipo de siniestros y la importancia de realizar una revisión y adecuación de los sistemas de protección trasera de los vehículos pesados que transitan por las rutas y de esta forma disminuir las consecuencias de los mismos*

*Palabras clave: colisiones por alcance, estadísticas, vehículos pesados, paragolpes, protección antiempotramiento*



## 1. Introducción

El presente estudio se realizó a partir de los accidentes registrados en la Provincia de Santa Fe, en la cual, al igual que en el resto del país, el transporte carretero es el encargado de trasladar más del 95 % de las cargas, por otra parte por su ubicación geográfica estratégica, presenta un flujo muy alto de vehículos pesados prácticamente en toda su extensión con una concentración mucho más elevada en las proximidades de los puertos del centro sur de la Provincia sobre el río Paraná.

Los siniestros que se registran en colisiones por alcance entre vehículos livianos y camiones pesados y/o vehículos remolcados pueden tener consecuencias de mucha gravedad debido principalmente a la falta de compatibilidad entre ambos vehículos ya que poseen masas muy disímiles y por otra parte a la falta de un diseño adecuado de los dispositivos de protección trasera de los vehículos pesados.

En el presente trabajo se realiza un informe estadístico descriptivo a efectos de conocer, cuantificar y analizar los siniestros en los cuales se ven involucrados vehículos pesados al ser impactados en su parte trasera por vehículos de menor porte y su evolución a lo largo de los últimos años.

Los datos utilizados en este trabajo han sido suministrados por la Agencia Provincial de Seguridad Vial de la Provincia de Santa Fe [1] y corresponden a los siniestros con víctimas registrados en esta Provincia durante cinco años (2012 al 2016).

El presente trabajo se enmarca en el proyecto PID (Código: TVUTIFE0005112TC) “Análisis de las Condiciones de Seguridad de Vehículos Remolcados en Colisiones por Alcance en la Provincia de Santa Fe.”

## 2. Desarrollo

La información considerada comprende los siniestros viales por alcance en los que se vieron involucrados vehículos remolcados en la Provincia de Santa Fe, los cuales fueron analizados y procesados según datos recabados por la Agencia Provincial de Seguridad Vial (APSV) [1].

Mediante distintas herramientas de EXCEL, se ordenaron, filtraron y clasificaron los datos según parámetros críticos que definen el siniestro vial con la participación de vehículos pesados.

Posteriormente se desarrollaron tablas y gráficas de tendencias, con el fin de identificar patrones e indicadores que delimiten la situación actual y la evolución de este tipo de siniestro en la Provincia de Santa Fe en los últimos años.

Se consideran como vehículos pesados a los vehículos tractores categoría N2 y N3, que incluyen vehículos con una masa superior a los 3500 kg, pudiendo ser estos tractores o camiones, y a los vehículos remolcados categorías O4 pudiendo ser los mismos acoplados o semirremolques.

Luego del análisis realizado de datos desde el año 2012 al 2016, se obtuvo lo siguiente:

**Tabla 1- Accidentes registrados en la provincia de Santa Fe**

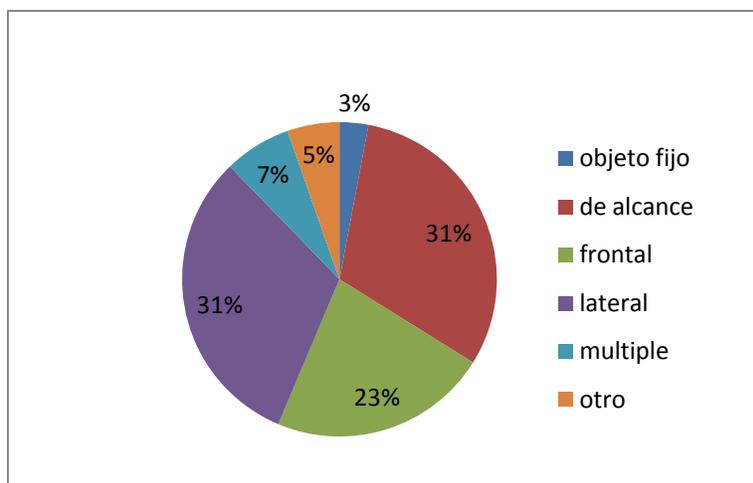
<b>Año</b>	<b>Accidentes totales</b>	<b>Choques por alcance</b>	<b>Choques por alcance vehículos pesados</b>
2012	17478	1049	116
2013	15520	1212	76
2014	11168	820	58
2015	10202	895	69
2016	9820	872	50
Total	64188	4848	369

En esta tabla, se puede apreciar que la cantidad total de accidentes presenta una importante disminución registrándose en el año 2016, 9820 siniestros lo que refleja una disminución del 44% con respecto al año 2012, sin embargo se observa que la cantidad de choques por alcance presenta una reducción de solamente el 17%, representando en los años 2015 y 2016 un 9% del total, un porcentaje muy superior al observado en el año 2012 donde significaba solamente un 6 %.



En lo que refiere a los choques por alcance en los que se vieron involucrados al menos un vehículo pesado, se observa que estos, representan en promedio el 8% del total de los mismos.

**Figura 1- Tipos de Colisiones entre vehículos livianos y pesados**



En la figura 1 podemos observar que los choques por alcance en el que intervinieron vehículos pesados conjuntamente con las colisiones laterales son el tipo de colisión que mayor cantidad de veces se registra con un 31 % cada una en el periodo analizado.

**Tabla 2- cantidad de accidentes y accidentados entre vehículos pesados o auto vs vehículos pesados**

Año	Accidentes por año	Ilesos	Heridos leves	Heridos graves	Heridos gravísimos	Fallecidos	Sin datos
2012	274	113	117	12	1	24	7
2013	216	84	100	11	1	16	4
2014	173	78	58	15	4	17	1
2015	182	89	72	7	0	12	2
2016	148	71	57	5	1	11	3
Total	993	435	404	50	7	80	17

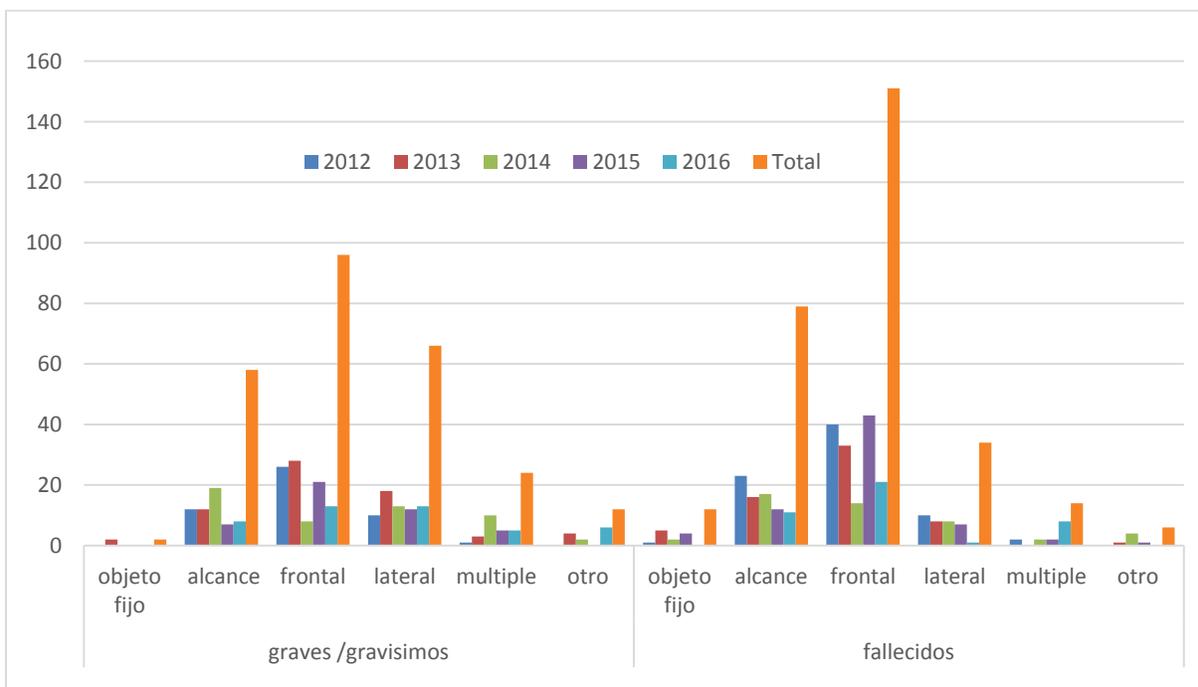
**Tabla 3- cantidad de accidentes y accidentados entre auto vs vehículo pesados**

Año	Accidentes por año	Ilesos	Heridos leves	Heridos graves	Heridos gravísimos	Fallecidos	Sin datos
2012	56	23	18	5	1	7	2
2013	44	19	19	4	0	2	0
2014	49	25	14	3	0	6	1
2015	49	20	15	6	0	6	2
2016	50	24	17	1	1	4	3
Total	248	111	83	19	2	25	8

Aquí en relación a la gravedad de las personas lesionadas en los siniestros, existen alrededor de 4% de lesionados de gravedad, una persona con un estado de gravedad aún mayor en casi todos los años, (exceptuando en 2014 que



fue de 4 personas) y un promedio de 8% de fallecimientos. A su vez de la cantidad de accidentes que involucran camiones, entre un 20 y un 30% representan a los que se producen entre un camión y un automóvil.

**Figura 2- Lesionados según tipo de colisión**


En la figura 2 se observa que la cantidad de fallecidos en colisiones frontales es la que mayor cantidad presenta lo cual se condice con la gravedad que presenta este tipo de colisión, la cual es siempre la de mayor mortalidad. También las colisiones frontales presentan la mayor cantidad de heridos graves y gravísimos.

Las colisiones por alcance se encuentra ubicado en segundo lugar de cantidad de fallecidos solamente superada por los choques frontales, lo cual pone de manifiesto la elevada gravedad de este tipo de colisión, siendo significativamente superior en cantidad de decesos a los choques laterales

Las colisiones por alcance presentan una cantidad mayor de heridos graves y gravísimos que las colisiones laterales en los años 2012 y 2014, invirtiéndose este orden en los años 2013, 2015 y 2016. Siendo los valores registrados en el total de años analizados levemente superior en las colisiones laterales.

Se observa que estos tres tipos de colisiones agrupan prácticamente la totalidad de los lesionados siendo de poca magnitud la que se observa en impacto contra objetos fijos.

**Tabla 4- cantidad de accidentes por alcance diferenciados por tipo de vía**

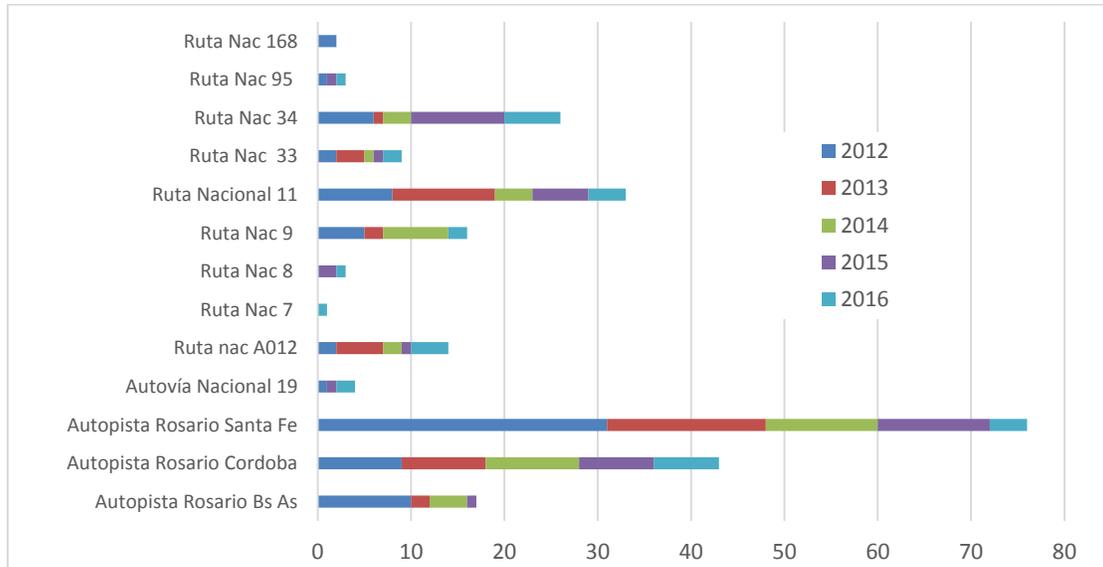
Año	Autopista	Ruta	Zona urbana	Total
2012	51	39	26	116
2013	26	33	17	76
2014	25	22	11	58
2015	23	28	18	69
2016	13	37	0	50
Total	138	159	72	369

Al analizar el tipo de vía donde se han registrado los siniestros se puede apreciar en la tabla 4, que las rutas de una sola mano presentan la mayor frecuencia de ocurrencia considerando la totalidad del periodo analizado, sin



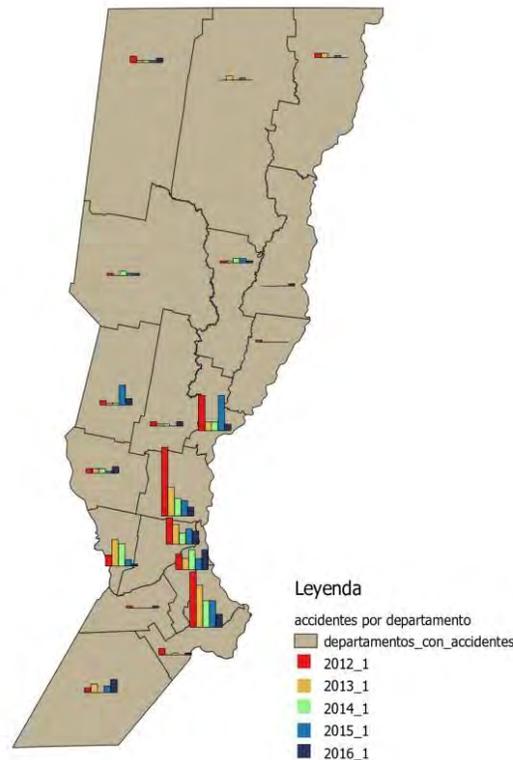
embargo se observa una gran cantidad de colisiones en Autopistas, las cuales durante los años 2012 y 2014 registraron una mayor cantidad de siniestros que las rutas.

**Figura 3- Accidentes por alcance con camiones por lugar de ocurrencia**



En la figura 3 se puede apreciar que la mayor cantidad de siniestros se registran en la Autopista Provincial Santa Fe Rosario. Se destaca que las dos vías que registran mayor cantidad de siniestros por alcance son autopistas, apareciendo recién en tercer lugar la Ruta Nacional N°11.

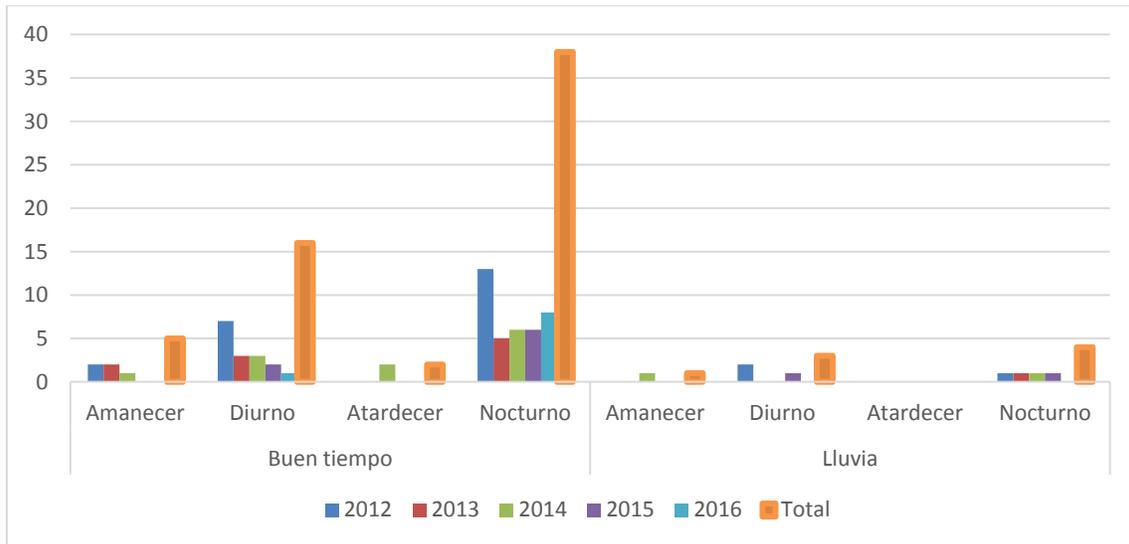
**Figura 4 – Distribución de accidentes por alcance por departamento**



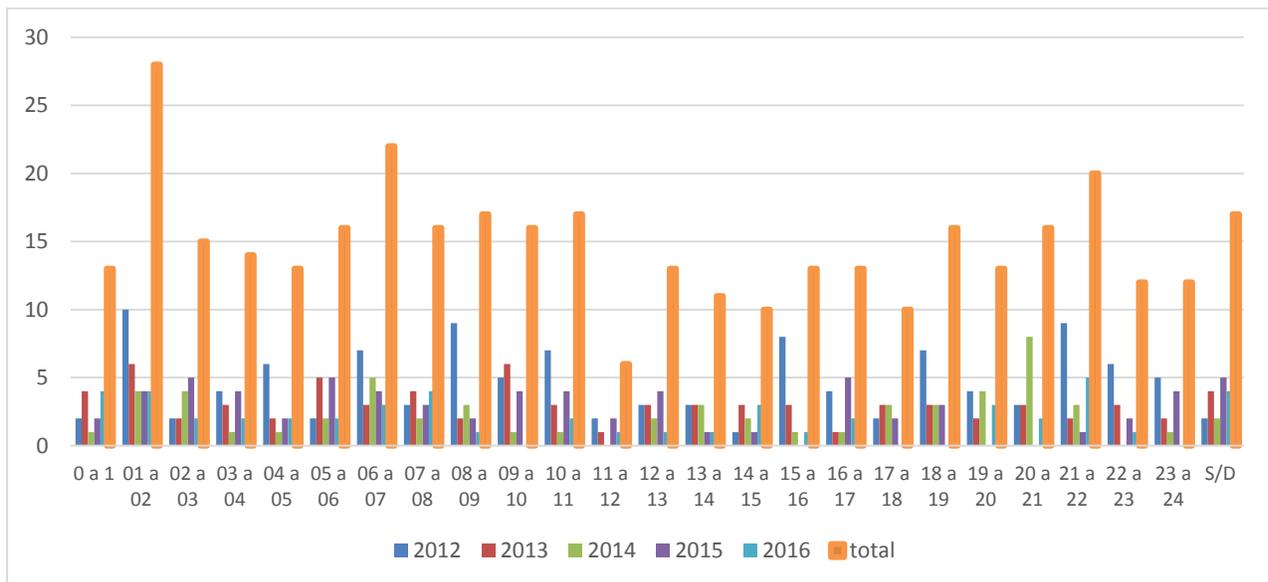


En la figura 4 se puede apreciar la distribución de siniestros en la provincia observándose la importante concentración que presentan los mismos en los departamento de Rosario, Coronda y Santa Fe, siendo también importante la cantidad en Cañada de Gómez, Las Rosas y San Lorenzo. Esta es la región cercana a los puertos fluviales, las cuales presentan un tránsito de vehículos pesados muy superior al resto de la provincia.

**Figura 5- Accidentes por alcance con fallecidos según luminosidad**



**Figura 6- Accidentes por alcance por hora**



El horario en el que se registran mayor cantidad de siniestros por alcance es entre la 1 y las 2 de la mañana mientras que la menor cantidad se produce entre las 11 y las 12, evidentemente las condiciones de iluminación inciden de forma importante ya que modifican sustancialmente las distancia de visibilidad, sin tener en cuenta otros factores que pueden incidir en los mismos como ser la somnolencia o fatiga



Esto también se pone de manifiesto en la figura 5 en la cual se aprecia que en el horario nocturno se registra la mayor cantidad de fallecidos, con un valor muy superior, no observándose incidencia de las condiciones climáticas en los mismos.

### 3. Conclusiones

A partir de los datos analizados se puede observar que en la provincia de Santa Fe el total de los siniestros entre el año 2012 y 2016 ha disminuido de forma significativa.

Al analizar las colisiones por alcance entre vehículos pesados y vehículos livianos se observa que la misma tienen un participación muy importante representando la configuración de colisión más habitual entre con el 31% del total.

Otro dato importante de destacar es que las colisiones por alcance se encuentra ubicado en segundo lugar en cantidad de fallecidos solamente superada por los choques frontales, lo cual pone de manifiesto la elevada gravedad de este tipo de colisión, para estos vehículos debido a la incompatibilidad de sus componentes.

El valor tan elevado de fallecidos en este tipo de colisiones pone en evidencia la necesidad de abordar de forma urgente las condiciones de seguridad pasiva que presentan los vehículos pesados que circulan por la Provincia de Santa Fe, debido a que estas estructuras deberían permitir lograr una tasa de incidencia de fallecidos muy inferior a la que se registran en las colisiones frontales.

No se ha podido acceder en este estudio a documentación fotográfica o relevamiento en detalle de los accidentes a efectos de evaluar el comportamiento de los dispositivos de protección trasera, como así también la gravedad del siniestro en función del lugar donde se registra el impacto sobre la parte trasera, pero resulta evidente la necesidad de establecer mecanismos para mejorar las prestaciones de los mismos en virtud de la elevada de tasa de mortalidad que se observa en las estadísticas analizadas en el presente trabajo.

Por otra parte también se observó que las colisiones por alcance presentan una cantidad de heridos graves y gravísimos similares a las colisiones laterales, siendo ambas inferiores a las colisiones frontales.

La mayor siniestralidad se presenta en horarios nocturnos, por lo que la luminosidad sería un factor altamente influyente.

En relación al tipo de vía, es en autopistas y rutas donde principalmente ocurren las colisiones, habiendo mayor concentración en el centro y sur de la provincia, observando picos altos en el corredor Rosario-Santa Fe.

### 4. Referencias Bibliográficas

[1] Observatorio Vial de la Agencia Provincial de Seguridad Vial. Fecha de publicación 2016-12-09. Fecha de última actualización 24-04-19.

< <https://www.santafe.gob.ar/datosabiertos/dataset/observatorio-vial> >

[2] Allen, K. (2010, October.) The effectiveness of underride guards for heavy trailers. (Report No. DOT HS 811 375.) Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.

[3] Blower, D., & Campbell, K. L. (1999). Underride in rear-end fatal truck crashes. Ann Arbor MI: University of Michigan Transportation Research Institute.



# Estudio de los factores que influyen en el rendimiento de frenado de los ejes de los vehículos remolcados y su relación con las exigencias reglamentarias.

**Cazzola Gustavo José<sup>a\*</sup>, Rubén E. Arias<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Gral. Pacheco, Hipólito Irigoyen 288, General Pacheco 1617, Buenos Aires, Argentina.

\* gcazzola@docentes.frgp.utn.edu.ar

## ABSTRACT

*The braking system represents the most important active safety system for vehicles. It must comply with two fundamental requirements that are efficiency and stability. The braking system must be designed with maximum efficiency to brake the vehicle with the minimum possible distance, maintaining its stability. In order to guarantee that the brake systems meet the mandatory demands, in the year 1995 the law 24,449 of traffic and road safety and its Decree 779/95 were passed, which established the bases for the homologation of vehicles in Argentina. In 1999, the then-Ministry of Industry, Commerce and Mining issued the Resolution 838/99, by means of which implemented the security specifications for each vehicle category for the issuance of the Model Configuration License. In the year 2018, the Ministry of transport issued the Decree 32/2018, which updated the requirements of active and passive safety for the homologation of vehicles. The present paper analyses the correlation between the factors that influence the braking capacity of the axles of towed vehicles and their relationship with the regulatory requirements.*

*Keywords: Brake systems, S-cam, Actuators, Brake lining, brake torque.*

## RESUMEN

*El sistema de frenos representa el sistema de seguridad activa más importante para los vehículos. Debe cumplir con dos requisitos fundamentales que son la eficiencia y la estabilidad. El sistema de frenos debe diseñarse con la máxima eficiencia para frenar el vehículo a la menor distancia posible, manteniendo su estabilidad. Para garantizar que los sistemas de frenos cumplan con las exigencias mandatorias, en el año 1995 se aprobó la ley 24.449 de tráfico y seguridad vial y su Decreto 779/95, que sentaron las bases para la homologación de vehículos en Argentina. En 1999, el entonces Ministerio de Industria, Comercio y Minería emitió la Resolución 838/99, mediante la cual implementó las especificaciones de seguridad para cada categoría de vehículo para la emisión de la Licencia de Configuración del Modelo. En el año 2018, el Ministerio de Transporte emitió el Decreto 32/2018, que actualizó los requisitos de seguridad activa y pasiva para la homologación de vehículos. El presente trabajo analiza la correlación entre los factores que influyen en la capacidad de frenado de los ejes de los vehículos remolcados y su relación con los requisitos reglamentarios.*

*Palabras Clave: Sistemas de frenos, S-cam, Actuadores. Cintas de frenos, torque de frenado.*

## 1. Introducción

El sistema de frenos de vehículos remolcados de gran porte, como acoplados y semirremolques, se puede clasificar en dos subsistemas, el subsistema de transmisión, que lo denominamos como subsistema neumático y el subsistema de accionamiento o subsistema mecánico. En este trabajo nos centraremos en el estudio de los factores que influyen en la capacidad de frenado del subsistema mecánico en relación a los requisitos normativos. Ejemplos de subsistemas mecánicos los podemos ver en la figuras 1-a y 1-b [1].

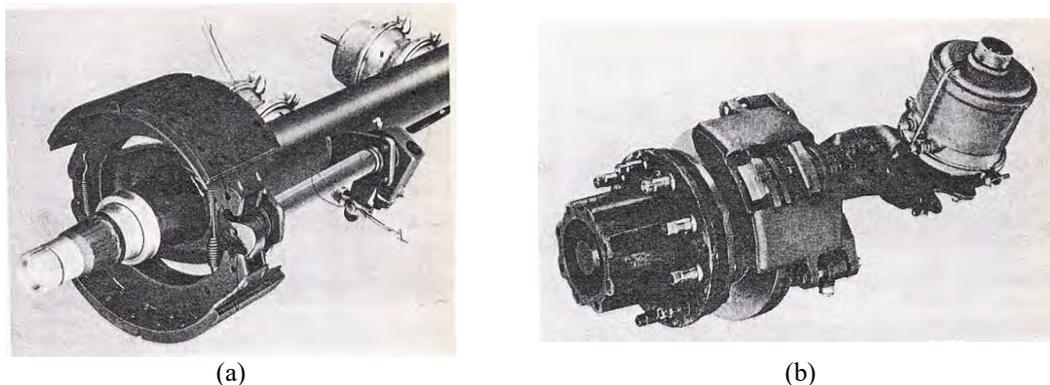


Figura 1- (a) Freno S-cam a tambor ; (b) Freno a disco [1].

Los fabricantes de sistemas mecánicos de frenos, como los ejes con frenos a tambor y/o a disco, proveen estos sistemas a los fabricantes de remolques para instalarlos en sus unidades.

Para que los vehículos puedan circular por la vía pública, los fabricantes deben contar con la Licencia de Configuración de Modelo correspondiente.

En el año 1995 se sancionó la ley 24.449 de tránsito y seguridad vial y su Decreto 779/95, que establecieron las bases de los requisitos de seguridad para la homologación de los vehículos en argentina.

En el año 1999, la entonces Secretaría de Industria, Comercio y Minería emitió la Resolución 838/99, por medio de la cual instrumento los requisitos de seguridad exigibles para cada categoría de vehículos para la emisión de la Licencia de Configuración de Modelo. En el año 2018 el Ministerio de transporte emitió el Dcto. 32/2018, el cuál actualizó los requisitos de Seguridad Activa y Pasiva para la homologación de los vehículos.

Para obtener la Licencia de Configuración de Modelo el fabricante de remolques debe acreditar, los certificaciones de los sistemas de seguridad activa y pasiva del remolque. Respecto a los requisitos exigibles al sistema de frenos, los fabricantes deben realizar los ensayos de frenos conforme a las exigencias del Reglamento 13 [3] de naciones unidas.

Es decir, que la responsabilidad que el vehículo cumpla con las exigencias reglamentarias respecto al sistema de frenos cae exclusivamente en el fabricante del vehículo, cuando el mismo adquiere el sistema de frenos por parte de un proveedor externo, al cual en la actualidad no se le exige que certifique su producto.

En virtud de lo expuesto, en este trabajo hemos realizado un estudio de los factores que influyen en la eficiencia de frenado de los sistemas mecánicos de frenos y su relación con las exigencias reglamentarias, con el fin de establecer la trazabilidad de los componentes que integran el sistema mecánico de frenos.

### 1.1 Evaluación de la eficiencia del Sistema de frenos.

El anexo 4 del reglamento 13 establece los requisitos del rendimiento de los sistemas de frenado de vehículos remolcados. Para ello, la suma de las fuerzas ejercidas en la periferia de las ruedas frenadas deberá ser igual, como mínimo, al x % de la carga estacionaria máxima por rueda, teniendo x los valores siguientes:

**Tabla 1 – Rendimiento de frenado de vehículos remolcados.**

	$x = \frac{TR}{PR} [\%]$	TR [KN]
Semirremolques	45	472.5
Acoplados	50	525

Donde:



TR: Fuerza de frenado ejercida en la periferia de las ruedas frenadas

PR: Peso estacionario máximo por rueda.

El peso máximo admisible por eje simple con rodado doble es de 105 KN, resultando un fuerza de frenado en la periferia de las ruedas TR como la expresada en la tabla 1.

Para analizar los factores que influyen en el rendimiento de frenado, podemos expresar la fuerza de frenado en la periferia de las ruedas como:

$$TR = (p_l - p_0) \cdot A_{cf} \cdot BF \cdot \rho \cdot \frac{r}{R} \quad (1)$$

Siendo:

TR: Fuerza de frenado en la periferia de la rueda

$p_l$ : Presión en los receptores de freno

$p_0$ : Presión para vencer los resortes de retorno

$A_{cf}$ : Área del receptor de freno

BF: Factor de frenado

$\rho$ : Factor de cupla

r: radio del tambor o radio efectivo del disco de frenos

R: Radio bajo carga del neumático

De la expresión anterior, vamos a analizar los factores que tienen una influencia en la fuerza de frenado TR, como son el área de los actuadores de frenos, el factor de frenado y el factor de cupla.

### 1.2 Área de los actuadores de frenos.

Los sistemas de frenos neumáticos utilizan actuadores de frenos de tipo diafragma para transmitir la fuerza a la palanca de accionamiento de frenos (figura 2).



Figura 2- (a) Freno S-cam liberado ; (b) Freno S-cam aplicado

Estos actuadores poseen un comportamiento de la curva fuerza-desplazamiento como se muestra en la figura (2). Se aprecia que inicialmente la fuerza decrece rápidamente para un incremento inicial de la carrera del



actuador, para luego tener un decaimiento suave y por ultimo al final de la carrera del actuador decaer bruscamente. La zona en la que es conveniente que operen los actuadores en el zona media donde la fuerza decrece levemente con el desplazamiento.

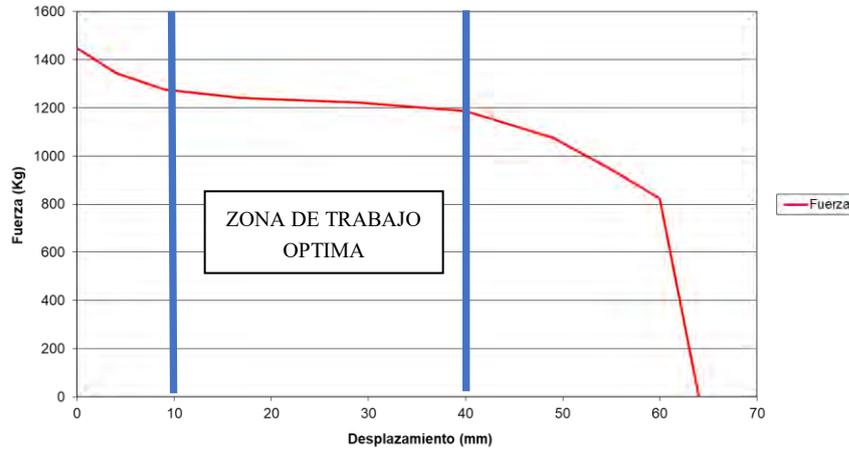


Figura 2- Curva fuerza desplazamiento actuador de frenos.

El Anexo 19 del Reglamento 13 establece los ensayos de rendimiento de los componentes del sistema de frenado. El ítem 2 de este anexo establece las características de rendimiento de las cámaras de freno de diafragma, para la homologación de ese tipo de actuadores.

Actualmente en nuestro país no se exige a los fabricantes de componentes de frenos cumplir con estos requisitos.

### 1.3 Factor de frenado

El factor de frenado (BF) se define como la relación entre el par de entrada y el par de salida

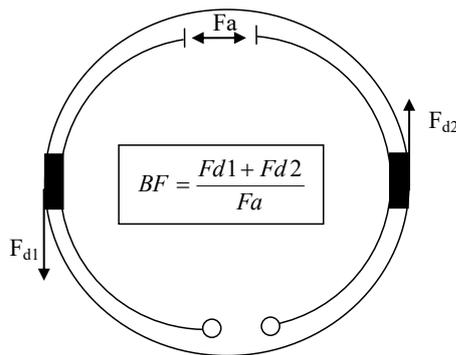


Figura 3- Relación del factor de frenado [2].

El factor o índice de frenado es un factor primordial en el diseño un sistema de frenos. En los sistemas de frenos de frenos a tambor s-cam, este factor depende del diseño de la leva de frenos, que es la encargada de generar la fuerza Fa, y



por otro lado del coeficiente de fricción entre la cinta -tambor o pastilla-disco de frenos.

A continuación se muestran valores típicos del factor de frenado para distintos tipos de sistemas de frenos en función del coeficiente de fricción. Lo que se puede apreciar es que una variación del 20% en el coeficiente de fricción entre las Cintas/pastillas y los tambores y discos de frenos, produce una variación en el factor de frenado de un 6% para el disco de frenos y un 14% para un sistema de frenos S-cam.

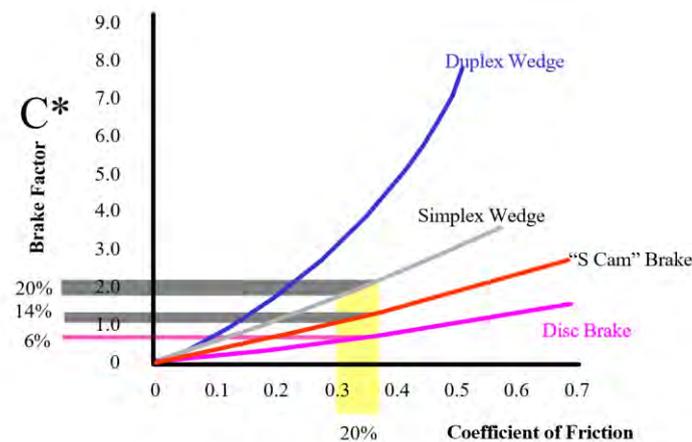


Figura 4- Relación del factor de frenado en función del coeficiente de fricción [3].

#### 1.4 Diseño de perfil de leva S-cam.

La condición que debe cumplir la leva S-cam es que el esfuerzo generado por la leva debe ser independiente de la posición de giro propia de la leva. Para lograr esto el perfil de la leva debe ser del tipo evolvente de círculo, debe verificarse que las rectas normales a la tangente en cada punto del perfil, son a su vez tangentes a una circunferencia de radio  $r$ , denominada circunferencia base.

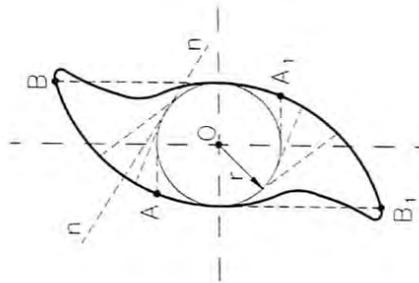


Figura 5- Perfil de evolvente [2].

El ítem 4 del Anexo 19 del Reglamento 13 establece las características de rendimiento en frío de los frenos de remolque, entre las que fija el procedimiento para determinar el factor de frenado, entre las condiciones que estipula el reglamento, pide verificar el factor de frenado con cada material de cinta o pastilla de frenos que utilice el fabricante. Cabe destacar que este requisito nos es exigido por las reglamentaciones de nuestro país.

#### 1.5 Coeficiente de fricción de las Cintas-pastillas de frenos.

Tanto las pastillas de frenos como los cintas de frenos requieren determinar su coeficiente de fricción en frío



y en caliente. En función de los coeficientes de fricción en frío y en caliente se clasifican con un código de letras como se pueden apreciar en la tabla 2.

**Tabla 2- Código de clasificación de cintas de freno.[1]**

Clasificación	Coefficiente de fricción
C	Menor a 0.15
D	0.15 a 0.25
E	0.25 a 0.35
F	0.35 a 0.45
G	0.45 a 0.55
H	Mayor a 0,55

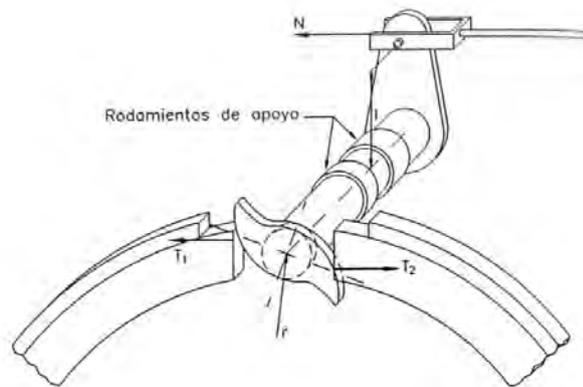
Los elementos de fricción para Cintas y/o pastillas de frenos en la actualidad, debido a la sustitución de los asbestos y al progreso tecnológico con la inclusión de partículas metálicas, han mejorado su comportamiento en caliente, obteniendo valores similares o algunas veces superiores al coeficiente de fricción en frío.

En nuestro país desde la Ley 24449 de Tránsito y Seguridad Vial y su Dcto 779/95, las Resoluciones 838/99, la resolución SI 91/01 el Dcto 32/2018 del Ministerio de Transporte y complementarias estipulan que los elementos de fricción para pastillas y/o Cintas de frenos requieren contar con certificado de autoparte de seguridad (CHAS) para poder comercializarse en nuestro país.

Las pastillas y/o Cintas de frenos son los únicos componentes del sistema mecánico de frenos que cuenta con certificación en nuestro país.

### 1.6 Factor de cupla.

El factor de cupla es un factor que se establece entre el torque generado por la fuerza del actuador neumático, el largo de la palanca de accionamiento y el torque generado en la leva.



**Figura 6- Relación de cupla entre palanca de accionamiento y leva [2].**

Para determinar el factor de cupla establecemos el equilibrio de momentos entre el torque de entrada y el de salida en la leva

$$N.L = T.2.r \quad (2)$$



$$T = N \cdot \frac{L}{2r} \quad (3)$$

$$\text{Siendo } \rho = \frac{L}{2r} \quad (4)$$

Donde:

N: Fuerza del actuador de frenos

T: Fuerza generada en la leva de frenos.

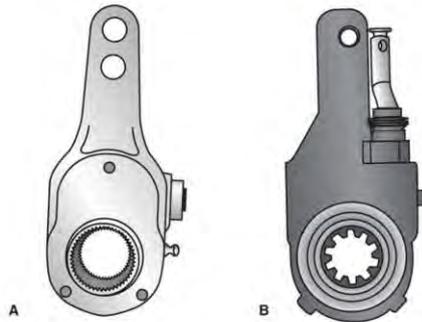
L : Largo del regulador

r : radio base de la leva de frenos.

Como se puede observar el factor de cupla es un término muy importante también en la expresión (1) para la determinación de la fuerza de frenado TR.

### 1.7 Palanca de accionamiento.

La palanca de accionamiento puede ser de ajuste manual o automático (figura 7).



**Figura 7- Palanca de accionamiento (a) Manual ; (b) automática**

El ajuste del regulador de frenos tiene una importancia fundamental en la eficiencia del Sistema de frenos, ya que si el regulador no se encuentra debidamente ajustado provocará una carrera excesiva del actuador de frenos, resultando que el actuador de frenos actúe fuera de la zona óptima (Figura 2), con la consecuente disminución de fuerza en el accionamiento del sistema de frenos. El correcto ajuste de un regulador manual de frenos depende exclusivamente de un buen programa de mantenimiento del vehículo o de un transportista que esté atento a revisar el ajuste de los frenos.

La manera de solucionar esto es el empleo de reguladores automáticos de frenos, de esta manera se evitan pérdidas de eficiencia de frenado por mal ajuste de los frenos.

### 1.8 Análisis de la situación planteada

En función de lo anteriormente desarrollado, podemos resumir la influencia de los factores que influyen en el rendimiento en función de las normativas vigentes en la tabla 3.

**Tabla 3 – Exigencias reglamentarias de los factores que influyen en el rendimiento de frenado.**

Componente	Términos de referencia Normativas Aplicables	Observación
------------	---	-------------



Actuadores de freno	Anexo 19 Reglamento 13	<del>Exigido</del> / No exigido
Rendimiento en frío del freno de remolque (Factor de frenado).	Anexo 19 Reglamento 13	<del>Exigido</del> / No exigido
Cintas/Pastillas de freno	IRAM AITA 6-C2 Reglamento 90 Directiva 71/320/CE	Exigido / <del>No exigido</del>

Podemos apreciar que tanto los actuadores de frenos como el factor de frenado se pueden evaluar a través del Reglamento 13, pero actualmente no se le exige a los fabricantes de actuadores de frenos y ejes cumplir con estos requisitos. El único componente que requiere CHAS (certificado de homologación de autoparte de seguridad) son las cintas y pastillas de frenos.

### **1.9 Conclusiones.**

A partir de lo expuesto en este trabajo queda claro para mejorar la seguridad de los vehículos remolcados, es importante contar con trazabilidad de los componentes que se instalan en los ejes de este tipo de vehículos.

Para lograr la trazabilidad de los componentes es necesario incorporar en la reglamentación nacional la exigencia del CHAS (certificado de homologación de autoparte de seguridad) de actuadores de frenos y el rendimiento en frío del freno de remolque (Factor de frenado).

De esta forma, si los frenos de remolque poseen CHAS, se asegura la trazabilidad de los componentes que integran el eje, evitando que se puedan reemplazar libremente los componentes por otros no certificados.

### **Referencias.**

[1] Limpert R., "Brake design and safety". Society of Automotive Engineers, Inc. 400 Commonwealth Drive. Warrendale, PA 15096-0001. ISBN 1-56091-261-8, 1992.

[2] Vera Alvarez C., Aparicio Izquierdo F. y Felez Mindan J., "Diseño y cálculo del sistema de frenos en automóviles". Editorial: ETS INGENIEROS INDUSTRIALES ISBN: 97884748411 MADRID (1995).

[3] Ganaway G., "Air Disc Brake Production, Use & Performance", TMC BRAKE TECHNOLOGY TASK FORCE: ECBS / AIR DISC BRAKES. NDIA TACTICAL WHEELED VEHICLES CONFERENCE Monterey, California, January 28, 2002.

[3] Reglamento 13 - <https://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29regs1-20.html>.



# Desarrollo de un simulador de bajo costo de conducción de camiones

**Sergio Klefenz<sup>a</sup>, Eduardo Jorge Sellés<sup>b\*</sup>**

<sup>a</sup> UTN, FRGP, Av Hipólito Irigoyen 288, Gral.Pacheco,1617, Bs As, Argentina

<sup>b</sup> UTN, FRGP, Av Hipólito Irigoyen 288, Gral.Pacheco,1617, Bs As, Argentina

\*Sergio Klefenz, dirección de correo electrónico: klefenz@gmail.com

## ABSTRACT

The goal of the project was to develop a software to simulate the driving of a truck for use in training and testing of truck drivers. The software was developed using the Unity game engine[1]. This engine provides several facilities for the development of simulators such as graphics, interface, sound and physics.

Using a game engine saves a lot of time and money as it provide a very large foundation that is common between computer games and vehicular simulators. This allows to focus on the particularities of vehicular simulation.

The simulator can be used to train or evaluate truck drivers which would better prepare them for adverse conditions at the roads or to filter out unsuitable drivers.

*Keywords:* Vehicular simulation – driving skills – Unity game engine -

## RESUMEN

El objetivo del proyecto fue desarrollar un software para simular la conducción de un camión para usarlo en el entrenamiento y prueba de conductores de camiones. El software fue desarrollado usando el motor de videojuegos Unity[1]. Este motor provee varias facilidades para el desarrollo de simuladores, tales como gráficas, interfaz, sonido y física.

Usar motores de videojuegos ahorra mucho tiempo y dinero ya que proveen un gran cimiento que es compartido entre los juegos de computadora y los simuladores vehiculares. Esto permite enfocarse en las particularidades de la simulación vehicular.

El simulador puede ser usado para entrenar o evaluar a los conductores, lo que los prepararía mejor para condiciones adversas en las rutas o filtrar conductores no aptos.

*Palabras Clave:* Simulación vehicular – Habilidades de manejo – Motor Unity

## 1. Introducción

Este proyecto usa un motor comercial de videojuegos para crear un simulador de bajo costo de conducción de camiones. El propósito del simulador es entrenar y evaluar a los conductores, con lo cual se podría mejorar la seguridad en las rutas.

Los simuladores de bajo costo son mas accesibles de adquirir tanto por privados como por instituciones oficiales como municipios a los efectos de realizar una primera evaluación del potencial conductor antes de realizar su examen de conducción definitivo para obtener su licencia o renovar la misma.

### 1.1. Estructura

Los motores de videojuegos proveen gráficos, interfaces, sonido y física.

Para los gráficos aportan renderizado acelerado en 3D, iluminación foto-realista, texturizado, filtrado y sombreado. Sin embargo esto no funciona por si mismo. Los desarrolladores deben crear piezas de trabajo artístico para poblar el entorno y ajustar todas las variables para resultados óptimos. En este caso el desafío mas grande es la creación del terreno, ya que necesita ser gráficamente realista para inmersionar al conductor en la simulación. También necesita representar correctamente rutas, estacionamientos, playas de carga, y diversas infraestructuras en diferentes estados de mantenimiento y daño.

Para la interfaz, el motor de juegos provee compatibilidad con varios dispositivos de interfaz de usuario. También se pueden crear dispositivos personalizados e integrarlos con el software siguiendo estándares de la industria.



Grl. Pacheco, 11 – 13 de Septiembre de 2019

El motor tiene capacidad de reproducción, mezclado y distorsión de sonido, así como sonido posicional 3D, lo que mejora la inmersión en la simulación y la orientación espacial en el entorno virtual.

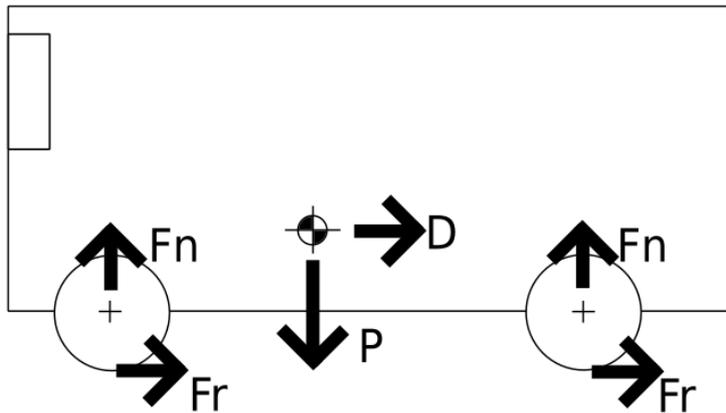
Para simulación física el motor usa el paquete PhysX. Este paquete usa el método de Runge Kutta de segundo orden para proveer cálculos precisos de posición, velocidad y aceleración de los vehículos y partes simuladas. Para que esto funcione correctamente se debe suministrar datos reales de los vehículos.

Usando un motor de videojuegos ahorra mucho tiempo ya que provee un gran cimiento que es compartido entre juegos de computadora y simuladores vehiculares. Esto permite concentrarse en las particularidades de la simulación vehicular.

El núcleo del trabajo consiste en desarrollar un modelo de como las coordenadas del acelerador y la palanca de cambios (los cuales son inputs del usuario) resultan en las aceleraciones y velocidades finales del vehículo. Para los propósitos de la simulación vehicular estos deben ser lo mas cercanos a la realidad posible. El modelo está basado en información disponible en los datasheets de los camiones y también en teoría genérica de combustión interna.

Para simular el movimiento del vehículo se necesita conocer su posición, velocidad y aceleración. La posición y velocidad se obtienen integrando, esto lo hará el motor Unity automáticamente, por lo tanto se deben determinar las aceleraciones del vehículo. Si se considera la simetría del vehículo se simplifica el sistema a 2 dimensiones. De esta forma se establecen las fuerzas que causarán las aceleraciones.

Las fuerzas externas que actúan sobre el vehículo son:



P: peso

D: arrastre aerodinámico

Fn: reacciones normales de las ruedas

Fr: resistencia de rodadura de las ruedas

Se omite las fuerzas tractoras por ser de origen interno.

Tanto el arrastre aerodinámico como la resistencia de rodadura se oponen al avance del vehículo. En camiones el arrastre aerodinámico es mas pequeño que la resistencia de rodadura. En el simulador el arrastre será calculado por el motor Unity que generará una fuerza que se opondrá al avance automáticamente, por lo tanto no lo tendré en cuenta.

El arrastre total sobre el vehículo se denomina road load y se identifica con la letra R

$$R = A + B \cdot V^2$$

$$\text{con } A = m \cdot g \cdot |f_0 \cdot \cos(\alpha) + \text{sen}(\alpha)| \text{ y } B = m \cdot g \cdot K \cdot \cos(\alpha) \quad [2]$$

m: masa del vehículo [kg]

g: aceleración de la gravedad [m/s<sup>2</sup>]

f<sub>0</sub>: coeficiente que depende de los neumáticos

K: rigidez de los neumáticos [s<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>]

α: pendiente del camino

V: velocidad del vehículo [m/s]

La potencia consumida por la road load es:

$$P_r = V \cdot R$$



$$P_r = A \cdot V + B \cdot V^3$$

El motor del vehículo genera una potencia que será transmitida a las ruedas con un cierto rendimiento.

$$\eta_t \cdot P_e - P_r = m_e \cdot dV/dt \quad [3]$$

$\eta_t$ : eficiencia de la transmisión

$P_e$ : potencia generada por el motor [w]

$m_e$ : masa equivalente del vehículo

Por lo tanto

$$a = (\eta_t \cdot P_e - P_r) / m_e$$

La masa equivalente del vehículo es una masa que tendría la misma energía cinética que el vehículo considerando sus partes en rotación.

$$m_e = F + G / \tau_c^2 \quad [4]$$

con

$$F = m + J_w / R_e^2 + J_t / R_e^2 \quad \text{y} \quad G = J_e / R_e^2 \quad (\text{asumiendo que todas las ruedas tienen el mismo diámetro})$$

Siendo

$J_w$ : la suma de los momentos de inercia de las ruedas [kg m<sup>2</sup>]

$R_e$ : radio de las ruedas [m]

$J_t$ : momento de inercia equivalente de la transmisión [kg m<sup>2</sup>]

$J_e$ : momento de inercia equivalente del motor [kg m<sup>2</sup>]

$\tau_c$ : relación de transmisión de la caja de cambios

Para definir la aceleración solo falta calcular la potencia que entregara el motor. Esta dependerá de la velocidad a la que esté girando y la posición del acelerador. El motor diesel tiene una curva de potencia en función de la velocidad que se puede aproximar con una función cúbica.

$$P_{e\max}(n) = P_0 + P_1 \cdot n_e + P_2 \cdot n_e^2 + P_3 \cdot n_e^3 \quad [5]$$

Los coeficientes son

$$P_0 = 0 \quad , \quad P_3 = -P_{\max} / n_{\max}^3 \quad (\text{para todos los motores})$$

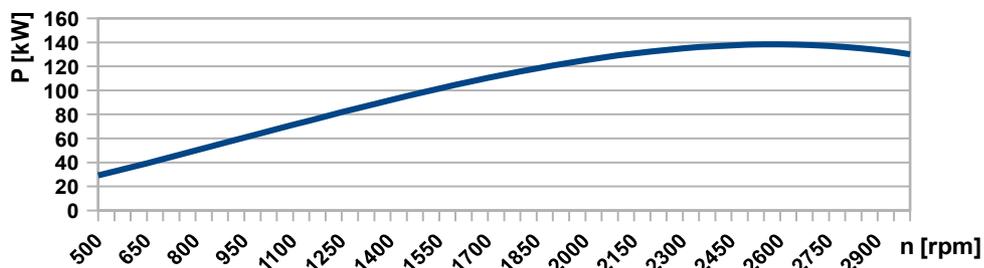
$$P_1 = 0,87 \cdot P_{\max} / n_{\max} \quad , \quad P_2 = 1,13 \cdot P_{\max} / n_{\max}^2 \quad (\text{para motores diesel de inyección directa})$$

Para el motor de un Iveco Tector 9 toneladas

$P_{\max}$ : 138 kW

$n_{\max}$ : 3000 rpm [6]

Con estos datos la curva de potencia es:





### *Diagrama de potencia vs velocidad para el motor de un Iveco Tector 9 ton*

Estos valores son de potencia máxima, o sea la que el motor daría con la válvula mariposa completamente abierta para cada régimen de velocidad. El acelerador controla la potencia producida que será menor o igual a la máxima para ese régimen. Por lo tanto la potencia que entrega el motor será:

$$P_e = P_{e_{max}}(n) \cdot throttle$$

Siendo throttle la apertura de la válvula mariposa controlada por el pedal acelerador. Esta tiene un cierto valor mínimo cuando uno no aprieta el pedal y un valor de 1 cuando lo aprieta hasta el fondo.

Para frenar se agrega un término mas a la ecuación de road load. Este representa la fricción impuesta por los frenos sobre las ruedas.

$$R = A + B \cdot V^2 + E$$

Siendo E la fuerza frenante, esta depende de los frenos y de los neumáticos. Los valores de fuerza frenante se obtienen experimentalmente.

La dirección es principalmente manejada por el motor Unity. Lo único que hay que hacer es establecer el ángulo al que estarán las ruedas delanteras y Unity se encarga de aplicar las fuerzas y momentos correspondientes.

La suspensión del vehículo también es manejada por Unity que provee un objeto de suspensión automatizada preprogramado.

Para poder probar los reflejos y reacciones de los conductores, el sistema crea “distractores”. Estos distractores son objetos que aparecen repentinamente en el camino, tales como gente cruzando o autos yendo en contramano. Cuando aparecen el conductor debe evitar la colisión. Estos distractores son creados por el evaluador usando una interfaz separada.

Las limitaciones del sistema son las inherentes a cualquier simulador. No se siente lo mismo conducir dentro de un entorno virtual que conducir en la realidad. Las condiciones psicológicas difieren de la realidad, y los resultados no reflejan exactamente las reales habilidades de conducir y respuesta a estímulos. Además siendo que los datos sobre conducción real y verdaderas respuestas a estímulos de los conductores no están fácilmente disponibles, puede ser difícil juzgar basado en datos de simulador. El simulador se basa en la premisa de que el comportamiento será similar, al menos en algunos aspectos a la realidad. Sin embargo la brecha inevitable entre realidad y simulación debe ser tomada en cuenta.

## **2. Conclusiones**

El resultado es un software que permite simular la conducción de un número de modelos de camiones reales en diferentes entornos, condiciones climáticas y situaciones adversas. Esto puede ser usado tanto para entrenamiento como para evaluación de conductores de camiones, lo que mejoraría la seguridad en las rutas.



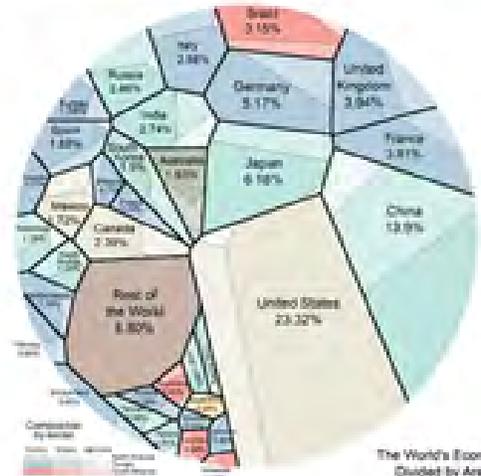
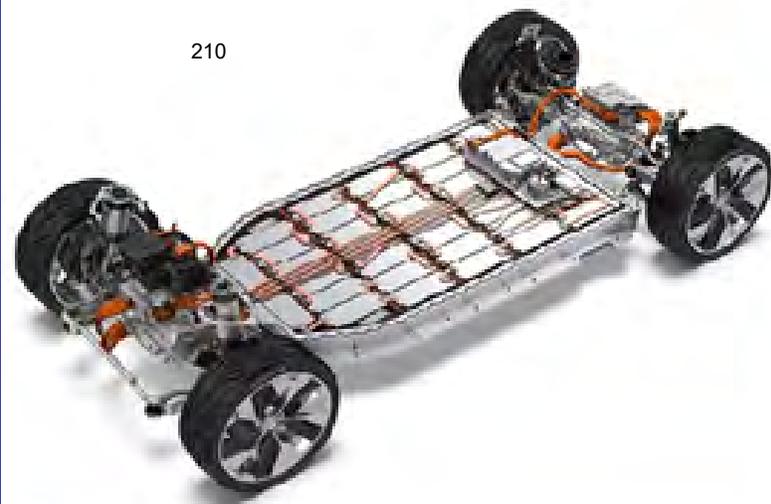
*Imagen tomada del simulador. Gráficos no finales.*



*Cabina de simulación a construir.*

### **Referencias**

- [1] Motor Unity <https://unity.com>
- [2] Motor Vehicle Dynamics Modelling, Giancarlo Genta, pag 141. Se omitieron los términos aerodinámicos.
- [3] Motor Vehicle Dynamics Modelling, Giancarlo Genta, pag 172
- [4] Motor Vehicle Dynamics Modelling, Giancarlo Genta, pag 172
- [5] Motor Vehicle Dynamics Modelling, Giancarlo Genta, pag 144
- [6] Catálogo Iveco Tector 9 y 11 ton, pag 3.



# Ponencias



# **Boeing 737-204 C, LV-WRZ, Vuelo 3142 de LAPA S.A., accidentado el 31 de agosto de 1999, 20:54 Hs. local, Aeroparque Jorge Newbery, 65 fallecidos, 37 heridos, la larga cadena de factores intervinientes, y ..... un accidente que nunca debió haber ocurrido.**

## **Análisis de un perito actuante.**

**Victor Luis Caballini<sup>[1]</sup>**

[1] Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo, Haedo, C.P. 1706, Argentina  
caballini2000@yahoo.com, vcaballini@frh.utn.edu.ar

### ABSTRACT

*Flight 3142 of Líneas Aereas Privadas Argentinas (LAPA), which was attempted with the Boeing 737-204C aircraft, LV-WRZ, between Jorge Newbery (Buenos Aires), and Ambrosio Taravella (Córdoba) Airports suffered a violent accident during the takeoff operation, on August 31, 1999 at 20:54 (local time), starring the second most serious accident in the history of Argentine aviation, in which 65 people died (two of them unaware of the flight), surviving 37 people with different levels of severity and permanent injuries.*

*Although the accident occurred during the takeoff operation, it began much earlier, due to the direct or indirect responsibility of many people, public officials, the company, and third parties involuntarily involved, who decisively intervened in the aircraft exceeding the limits of the airport, overthrow the perimeter fences of the airport, crossing Costanera Rafael Obligado avenue, and dragging a car that circulated through it, and finally crashing into some road machines, an embankment and a gas regulating plant. The loss of fuel and the gas expelled by the rupture of the gas plant caused a fire that caused the death of most of the passengers who would have survived the initial impact.*

*Much has been said about this mournful accident, with different degrees of interest, much ink used and many comments with varying degrees of precision and knowledge. This work represents the summary of the final report that the signatory produced in his role as Technical and Operational Expert in name of the victims.*

*This work only aims to demonstrate the latent vices of an operating structure that did not match the risks inherent in air operations, and very far from the safety standards required by the various international institutions of which the country is a signatory, such as ICAO / OACI<sup>1</sup>, but also transgressing strict rules of internal operation of companies, and the people responsible for controlling this activity.*

*For this reasons, proper names of people and responsible bodies are protected in this presentation, but describing all the factors that, in the opinion of the Author, intervened in the accident.*

**Keywords:** Aerodynamics, Control, Ground Effect, Safety, Training, Responsibility

### RESUMEN

*El vuelo 3142 de Líneas Aéreas Privadas Argentinas (LAPA), que se intentaba realizar con la aeronave Boeing 737-204C, LV-WRZ, entre los Aeropuertos Jorge Newbery (Bs.As.), y Ambrosio Taravella (Córdoba) sufrió un violento accidente durante la operación de despegue, el 31 de agosto de 1999 a las 20:54 (hora local), protagonizando el segundo accidente más grave de la historia de la aviación argentina, en el que fallecieron 65 personas (dos de ellas ajenas al vuelo), sobreviviendo 37 personas con diferentes niveles de gravedad y lesiones permanentes.*

*Si bien el accidente se produjo durante la operación de despegue, comenzó muchísimo tiempo antes, por la responsabilidad directa o indirecta de muchas personas, funcionarios públicos, de la empresa, y terceros involuntariamente involucrados, que intervinieron en forma decisiva en que la aeronave sobrepasara los límites del aeropuerto, arrancando las vallas perimetrales del aeropuerto, atravesando la Avenida Costanera Rafael Obligado, y arrastrando a un automóvil que circulaba por ella, y finalmente chocando contra unas máquinas viales, un terraplén y una planta reguladora de gas. La pérdida de combustible y el gas expelido por la rotura de la planta de gas provocaron un incendio que causó la muerte de la mayoría de los pasajeros que habrían sobrevivido al impacto inicial.*

*Mucho se ha hablado sobre este luctuoso accidente, con diferentes grados de interés, mucha tinta utilizada y muchos comentarios con variados grados de precisión y conocimiento. Este trabajo representa el resumen del informe final que el firmante produjo en su función de Perito Técnico y Operativo de Parte las víctimas.*

*Este trabajo solo pretende demostrar los vicios latentes de una estructura operativa que no estuvo a la altura de los riesgos propios de las operaciones aéreas, y muy lejos de los estándares de seguridad requeridos por las diversas*

<sup>1</sup> OACI/ICAO: Organización de Aviación Civil Internacional.



*instituciones internacionales de las que el país es signatario, tales como la OACI/ICAO, pero también transgrediendo estrictas normas de funcionamiento interno de las empresas, y de las personas responsables del contralor de esta actividad.*

*Por esta causa se obvian nombres propios de personas y de organismos responsables, pero describiendo todos los factores que a juicio del Autor intervinieron en el mismo.*

**Palabras Clave:** Aerodinámica, Control, Efecto Suelo, Seguridad (safety), Entrenamiento, Responsabilidad

## 1. Introducción

El accidente de la aeronave Boeing 737-204C, LV-WRZ, durante el inicio del vuelo 3142 de Líneas Aéreas Privadas Argentinas (LAPA), que se intentaba realizar con la aeronave Boeing 737-204C, LV-WRZ entre los Aeropuertos Jorge Newbery (Bs.As.), y Ambrosio Taravella (Córdoba) sufrió un violento accidente durante la operación de despegue, el 31 de agosto de 1999 a las 20:54 (hora local), protagonizando el segundo accidente más grave en cantidad de muertos y lesionados de la historia de la aviación argentina, en el que fallecieron 65 personas (dos de ellas ajenas al vuelo), sobreviviendo 37 personas con diferentes niveles de gravedad y lesiones permanentes



**Figura 1:** En esta imagen se aprecia la trayectoria aproximada que tomó el avión en su intento de despegue, cruzando la avenida y terminando su mortal carrera sobre el campo de golf.

El comandante era Gustavo Weigel, de 45 años de edad, y el copiloto era Luis Etcheverry, de 31; ambos fallecieron en el accidente. El comandante contaba con una experiencia de 6500 horas de vuelo, de las cuales 1710 habían sido en el tipo de aeronave accidentada. El copiloto había volado 560 de sus 4085 horas de vuelo en el tipo de aeronave accidentada. Si bien el accidente se produjo durante la operación de despegue, comenzó muchísimo tiempo antes, por la irresponsabilidad directa o indirecta de muchas personas, funcionarios públicos, de la empresa, y terceros involuntariamente involucrados, que intervinieron en forma decisiva en que la aeronave sobrepasara los límites del aeropuerto, arrancando las vallas perimetrales, atravesando la Avenida Costanera Rafael Obligado, y arrastrando a un automóvil que circulaba por ella, y finalmente chocando contra unas máquinas viales, un terraplén y una planta reguladora de gas. La pérdida de combustible y el gas expelido por la rotura de la planta de gas provocaron un incendio que causó la muerte de la mayoría de los pasajeros que habrían sobrevivido al impacto inicial.

Mucho se ha hablado sobre este luctuoso accidente, con diferentes grados de interés, mucha tinta utilizada y muchos comentarios con variados grados de precisión y conocimiento. Este trabajo representa el resumen del informe final que el firmante produjo en su función de **Perito Ingeniero y Piloto, de Parte las Víctimas**.

Esta presentación tiene por objeto centrarse en los aspectos técnicos y operativos con los que el avión se fue encontrando desde su posición en la plataforma hasta que se accidentó, y los demás factores concurrentes que llevaron a la aeronave al estrago culposo, y como podría haberse evitado, aún iniciada la carrera de despegue.

Se han obviado los nombres de todas las personas involucradas por la justicia, porque no es intención de este trabajo reabrir una cuestión judicial que por otro lado dictó sus sentencias y sobreseimientos, en las que el autor mantiene sus reservas, excepto los del Comandante de la Aeronave y el Copiloto de la misma, principales involucrados en el accidente.

## 2. Hechos

Esta historia sintética en inicio de esta presentación está basada en los hechos corroborados por el autor, y el informe en el que la Junta Investigadora de Accidentes de Aviación Civil (JIAAC) reseña las actividades de los pilotos en el instante previo al inicio de sus funciones, como Piloto y Copiloto en los siguientes términos:



La noche del accidente, el Comandante arribó, como era usual, una hora antes del despegue al Aeroparque Jorge Newbery con el fin de cumplimentar un vuelo regular de transporte de pasajeros, (LAPA 3142) a bordo del cual se transportarían 95 pasajeros y 5 tripulantes con destino al Aeropuerto Ingeniero Ambrosio Taravella de la ciudad de Córdoba.

El Comandante llegó antes que el Copiloto y conversó informalmente con el Despachante de Turno. Comenzaron el acuerdo previo con los demás tripulantes para definir roles y dar el lineamiento y tiempos de la acción a desarrollar (*briefing*), cuando llegó el Copiloto repasaron las condiciones meteorológicas —que eran buenas— los NOTAMS<sup>2</sup> para el aeropuerto de destino y aeropuertos de alternativa. Ambos pilotos controlaron el plan de vuelo. Después de ver las buenas condiciones meteorológicas, el Comandante seleccionó SABE – Aeroparque - como aeropuerto de alternativa y decidió sobre el combustible requerido para el vuelo. El Copiloto fue al avión y el Comandante hizo lo propio poco después.

El Copiloto comunicó a uno de los mecánicos que asisten a la aeronave, el total del combustible requerido 8.500 kg, completo en tanques de planos. El mecánico constató la existencia de combustible en el tanque central. En este caso y por norma operativa, el combustible debía ser trasvasado a los tanques de los planos<sup>3</sup>.

El Mecánico comenzó a efectuar esa tarea, cuando llegó el Comandante a la aeronave. Antes de ingresar a la cabina arrojó al piso el registro técnico de vuelo, demostrando molestia al cerrar intempestivamente la llave de transvase de combustible entre tanque central y de planos, tarea que era realizada en ese preciso momento por el Mecánico asistente de la aeronave del vuelo en cuestión.

Esto demuestra el grado de autoritarismo del comandante, quien decidió mantener el combustible en el tanque de fuselaje en contra de lo recomendado por las normas.

Las condiciones previas al vuelo estaban complicadas por problemas de demoras en las autorizaciones de partida de los vuelos, por cuestiones naturales de la hora y día, más problemas que se venían arrastrando con los controladores de tránsito aéreo por problemas gremiales. La cuestión es que en estos casos el control del tránsito terrestre, conocido como GROUND CONTROL, es quien autoriza la puesta en marcha de los motores.

Al ingresar en la cabina los pilotos en el *briefing* previo al vuelo acordaron que en el tramo Jorge Newbery (SABE) – Ambrosio Talavera (SACO), como **Flying Pilot**<sup>4</sup>, lo efectuaría **Luis Echeverri** el copiloto. En este caso se acuerda que el Comandante cumpliría las funciones de asistente, comunicaciones y todas las funciones del **Not Flying Pilot**.

En la cabina, el CVR-Grabador de voces de cabina y de comunicaciones, comenzó a grabar 31 minutos anteriores al accidente. Los primeros seis minutos los utilizaron ambos Pilotos y la Comisario de Abordo para hablar de cuestiones triviales y personales. Sentados en sus correspondientes posiciones, de acuerdo a los estándares de LAPA y muchas otras empresas (el Comandante Gustavo Weigel a la izquierda, y el Copiloto Luis Echeverri a la derecha, con independencia de sus funciones transitorias para este vuelo), el Copiloto intenta leer la “Lista de Checkeo” comenzando en el punto “BEFORE START (motores), siendo interrumpido por el comandante por varios minutos, repasando los ítems entre risas, cuestiones triviales y personales, en medio de una ronda de mates.

El Copiloto que a esa altura iba ser el Flying Pilot, se comunica con el Control de Tierra, pidiendo “Push Back y Puesta en Marcha”, lo que es autorizado. Se efectúa la maniobra y se comienza la puesta en marcha leyendo los parámetros funcionales de ambos motores, entre risas y comentarios con la Comisario de abordaje y una de las azafatas, que a la sazón entraban y salían de la cabina violando permanentemente el concepto de “**cabina estéril**”, para tomar mate y otras cuestiones personales con cierta picardía acerca de posibles reuniones a efectuarse. Cuando se quedaron solos nuevamente el comandante hace un chiste sobre sus bajos instintos relacionados con dicha Comisario, en forma distendida. Nuevamente entre risas y comentarios triviales, el Copiloto pide autorización para Rodaje (Taxi) y solicita Permiso para el Plan de Vuelo presentado. El Control Terrestre lee el Permiso y autoriza el rodaje para “Pista 13” con “Turno cinco”. Se inicia el rodaje y nuevamente continúa las conversaciones entre ambos y la Comisario que entraba y salía de la cabina. El Copiloto en espera cierra la Lista de Checkeo, y la coloca sobre el **Glare Shield** (cubierta del panel frontal de instrumentos para que el sol no encandile su lectura, generando una sombra sobre los mismos).

A poco más de 9 minutos para el accidente, continúan las conversaciones distendidas, comentarios sobre otras aeronaves, etc. EL Control Terrestre autoriza comunicación con la Torre de Control. Cuando la aeronave se encuentra “a 90, con Turno 1”, **se retoma la lista, en el punto “BEFORE TAKE OFF”, inexplicablemente se saltea las 4 primeras líneas (Incluida la de configurar la aeronave con “Flaps 5”)**, el “seteo” de “Flaps”<sup>5</sup> automáticamente configura además Flaps de BA, “Full Down”, y “Slats ½”. El Copiloto comunica a la Torre de Control “**En condiciones el 3142**” (para ocupar y despegar).

<sup>2</sup> **NOTAMs: Notice To Airmen** – Información “**A los Hombres del Aire**” sobre novedades a tener en cuenta sobre aeropuertos, rutas, equipos de aeronavegación, etc., para la seguridad operativa.

<sup>3</sup> A los fines de reducir los momentos flectores en la raíz de las semi alas (máximo valor posible), todas las aeronaves buscan que primero se llenen los tanques de ala. Recién cuando se llenan éstos, se pueden cargar los tanques de fuselaje (en todos los aviones del mundo). Esto se conoce en inglés como **Wing Bending Weight**.

<sup>4</sup> **Flying Pilot**: Piloto que conduce la aeronave en un determinado tramo. Esto es independiente de los cargos de comandante y copiloto, que lo designa la compañía.

<sup>5</sup> EL conjunto de Flaps, está compuesto por los Flaps de borde de fuga, los Flaps de borde de ataque (entre los motores y la raíz de ambas semi alas), del tipo Krüger, y los Slats en los tramos externos de ambas semi alas, del lado exterior de los motores (1/2).



La torre autoriza y posterior a aeronave que venía en **final**<sup>6</sup> para aterrizar, En esta situación, autorizado por el Control de Torre, el Comandante decide efectuar un “**Rolling Take off**”<sup>7</sup>. Esta maniobra consiste, con la autorización de “Posición” y “Despegue”, en entrar a la pista y sin detenerse a efectuar ningún otro control, comenzar la carrera de despegue. Una de las cosas que se suele verificar al detenerse previo al “Despegue”, con el avión sobre frenos, es precisamente la posición los Flaps. En este caso observando el indicador (Figuras 11 y 12), y la posición de la palanca selectora de Flaps, en la muesca “presel” correspondiente a los 5°, recomendados para el despegue normal, Adelantadas las palancas de aceleradores hasta  $N_1$  al 60% se observan los parámetros de motores y se inicia el despegue liberando frenos. oportunidad que se perdió al decidir la maniobra de Rolling Take Off.

Iniciada la carrera de despegue, al alcanzar aproximadamente unos 40° de desplazamiento angular de las palancas de aceleradores, una bocina instalada a tal fin comenzó a sonar una alarma intermitente de 800 Hz., con un sonido del tipo beep...beep...beep...beep... . Etcheverry, detiene el proceso de aceleración de los motores y pregunta “¿qué mierda pasa?”, se oye un prologado silencio, mientras la aeronave continua en velocidad, a media potencia, tiempo que se estima, le llevó al Comandante, observar el indicador de “Trim de Pitch” en “arco verde” (5°- Figuras 8.1 y 8.2), mirar el instrumento indicador de Flaps (Figuras 11 y 12), rumores durante la investigación indicaban que estaba “fuera de servicio” o roto, y debió haber visto “la Mariposa”, instrumento indicador del estado de Flaps de BA y Slats (Figura 13), cosa que por alguna razón no hizo, pese a que obviamente intentó hacer pero sin “asertividad”<sup>8</sup>, ya que se concluyó que mientras se prolongaba el silencio en cuestión, el avión “zizagueaba” (extraído de la Función Heading del FDR<sup>9</sup>), situación que en los peritajes, los intervinientes interpretamos, dado que el control de dirección a baja velocidad se efectúa con un volantín (figura 7) que solo está del lado del Flying Pilot (izquierda), tarea que debe efectuar el Flying Pilot, pero al estar el Flying Pilot a la derecha, lo debía hacer el comandante, para lo cual, debió abandonar para mirar adentro de la cabina, y afuera alternativamente. (Se efectúa un comentario al respecto en el punto “5. Conclusiones Finales”).

Luego, el comandante exclama “no sé qué es lo que es, pero está todo bien”, ..... continua la carrera, ahora acelerando nuevamente a al Valón máximo de  $N_1$  se sobrepasa la velocidad de decisión  $V_1$ <sup>10</sup> (136 Kt), se alcanza la  $V_R$ <sup>11</sup>(138 Kt), y Etcheverry “llama”<sup>12</sup> la aeronave. Ésta levanta la nariz unos 10-12 grados... se eleva un metro más o menos, y se mantiene a esa altura, **siendo incapaz de seguir el ascenso**, pero alcanzando la condición de “avión en el aire”, y entrando en el modo “Vuelo”, y 1 Stall Warning System”, lleva al avión al “shaker”<sup>13</sup> sorprendiendo a ambos pilotos. Fracciones de segundos después se decide abortar el despegue, intentan armar reversores ( solo se arme el derecho), pese a la aplicación de frenos, se sobrepasa el umbral de la cabecera 31, impacta contra las rejillas perimetrales, cruza la avenida Rafael Obligado, arrastra a un ocasional automóvil con dos ocupantes, montándose en él, arrastrándolo debajo de él hasta impactar contra un terraplén, maquinarias viales, y una caseta de gas, lo que con las chispas y el querosén JP-1 (Jet A1), se produce un desbastador incendio, con el luctuoso final de 65 personas fallecidas (dos de ellas ajenas al vuelo), sobreviviendo 37 personas con diferentes niveles de gravedad y lesiones permanentes.

### 3. Características Técnicas del B-737-204C

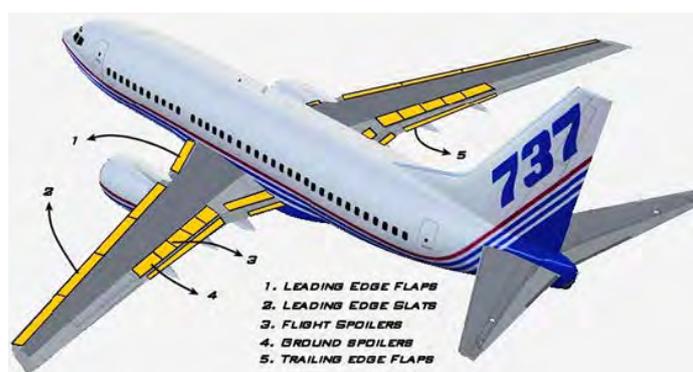


Figura 2: En esta imagen se aprecia la ubicación de los hipersustentadores (Flaps de Borde de Ataque (tipo Krüger), Flaps de Borde Fuga, Slats, y Frenos Aerodinámicos)

<sup>6</sup> “Final”: Tramo de la fase de aterrizaje, en el que la aeronave viene en descenso en el eje de la pista.

<sup>7</sup> “Rolling Take Off”: Maniobra que consiste en ingresar a la pista, y despegar sin solución de continuidad,

<sup>8</sup> “Asertividad”: Palabra derivada del verbo en inglés “To Assert”, que se plasma en el acto de colacionar la recepción de una orden impartida dentro de la cabina.

<sup>9</sup> “FDR”: Flight Data Recorder (Grabador de Datos de Vuelo)

<sup>10</sup>  $V_1$ : Velocidad de decisión. Es la velocidad indicada de la aeronave, antes de la cual o en la cual, ante una falla repentina de un motor, el piloto aborta el despegue.

<sup>11</sup>  $V_R$ : Velocidad superior a  $V_1$  a la cual el piloto, tira con decisión de los comandos de cabeceo, alcanzando un ángulo de ataque tal que la sustentación es superior al peso y la aeronave se va al aire.

<sup>12</sup> “llama”: tira con decisión de los comandos de cabeceo hacia él que se conoce con el nombre particular de “Rotación”.

<sup>13</sup> “shaker”: Vibración de la columna de comandos, como alarma mecánica para indicar que la aeronave está próxima a la pérdida.



Las características técnicas y aerodinámicas y operativas de la aeronave. Se trata de una aeronave Boeing 737, modelo 204 C, fue diseñado para vuelos de corto y medio alcance pues su autonomía de combustible es de 4 horas aproximadamente, o el equivalente a 2.580 km ( $\approx$  1.400 millas náuticas). Es un avión bimotor turbofan de baja relación de derivación, y propulsión mixta (turbofan y reactor), equipado con motores Pratt & Whitney JT8D que se ubican debajo de cada ala y cuentan con sistema de reversores de empuje. Su altura máxima de vuelo es de 37.000 pies, y su Velocidad Máxima de vuelo es 952 km/h (Mach 0,84). Dispone de tres tipos de Hipersustentadores: 4 Flaps de Borde de Fuga, 4 Flaps de Borde Ataque, 6 Slats en la parte exterior de las alas, 10 Frenos aerodinámicos (Spoilers) de los cuales 4 actúan como Spoileron<sup>14</sup>. Los Flaps poseen posiciones pre seleccionadas en forma discreta para las posiciones 0°, 1°, 2°, 5°, 10°, 15°, 25°, 30°, y 40°, siendo la operación recomendada para despegue normal en este aeropuerto, con 5° de flap de B.F. Cuanto mayor es la cantidad de flap, menor será la distancia requerida para el despegue, aunque comprometiendo luego el ángulo de ascenso a  $V_2$ <sup>15</sup>. Por lo que se debe balancear la conveniencia según el aeropuerto, la altura del mismo, la existencia de Clear Way, y/o Stop Way.

Los principales son los Flaps de Borde de Fuga, de tipo “persiana veneciana” de tres ranuras, que cumplen el triple rol de aumentar la Superficie alar, aumentar la curvatura del perfil compuesto, y soplar la capa límite naturalmente. Lo componen dos tramos, uno interno entre motor y el fuselaje y otro externo entre motor y punta de ala. También entre los motores y fuselaje posee 4 secciones de flaps de Borde de Ataque, del tipo Krüger, que esencialmente aumentan la curvatura equivalente del perfil compuesto en su zona de actuación, y por último poseen en la parte externa de los motores 6 tramos de Slats, que se activan en conjunto con cualquier selección de Flaps de B.F.



Figura 3: Flaps de Borde Fuga, desplegados 40° (full), donde se observan los tres tramos de Persianas venecianas.

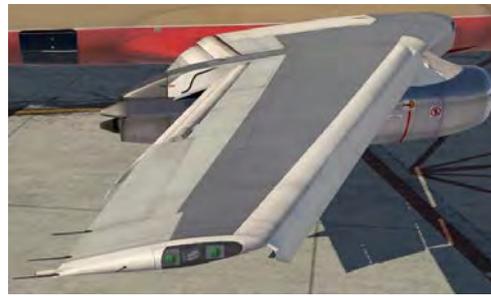


Figura 4: Slats, desplegados, se despliegan en forma conjunta al seleccionar Flaps de B.F, 1° o más



Figura 5: Flaps de Borde Ataque Krüger se acciona automáticamente cuando se despliega el Flap de B.F, 1° o más



Figura 6: Flaps de Borde de Ataque Krüger. Son dos secciones por semi ala se acciona automáticamente cuando se despliega el Flap de B.F, 1° o más



Figura 7: Control de rueda de nariz de la aeronave. No tiene réplica del lado derecho, solo del lado izquierdo

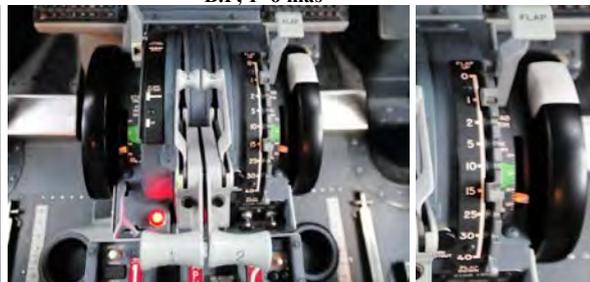


Figura 8.1: torreta de aceleradores con las ruedas del compensador de pitch. Palanca selectora de Flaps de B.F., indicando 1°. Indicadores de posición de



Figura 8.2: Sector ampliado. Palanca de Flaps B.F e Indicador derecho de posición de “trim de pitch”

<sup>14</sup> “**Spoileron**”: Spoilers controlados por computadoras que se mueven diferencialmente con el objeto de reforzar el efecto del alerón que ba ja, y reforzar el efecto de coordinación que efectúa el timón de dirección, disminuyendo la guiñada adversa a baja velocidad

<sup>15</sup>  $V_2$ : Velocidad de seguridad en el ascenso posterior al despegue, que en algunas normas corresponde a la velocidad de máximo ángulo de ascenso con un motor detenido.



Poseen además 4 tramos de spoilers en la parte externa y uno en la parte interna de cada semi ala. Su misión es triple: la primera es producir un aumento de la resistencia aerodinámica (Freno Aerodinámico) cuya responsabilidad recae principalmente en las dos secciones externas de cada semi ala y en la interna, la segunda es desprender la capa límite en el momento del aterrizaje, y la tercera afecta a los dos paneles centrales de cada semi ala que actúan automáticamente en forma diferencial, reforzando la acción de los alerones, en un modo conocido como “spoileron”.



Figura 9: Torreta de aceleradores, palanca de Flap B.F., muescas de preset, y indicador de sector verde del pitch de trim de pitch

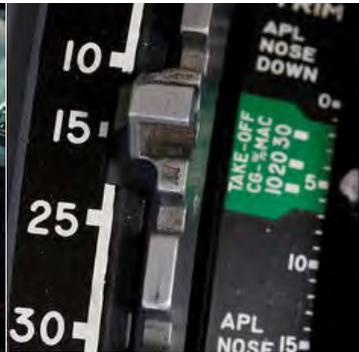


Figura 10: Primer plano de selectora de flap (muescas de preset) e indicador de posición de trim



Figura 11: Indicador de posición de Flap de



Figura 12: Vista del Panel principal de del B-737-204 C, donde puede observarse (avión gemelo del LV-WRZ) el Indicador de Flap de Borde de Fuga (T.E), y Las Luces Indicadoras de Flap de Borde de Ataque (L.E.), con las luces correspondientes a su activación automática cuando los Flap de Borde de Fuga alcanza un grado de extensión. Puede verse con mas detalles en la Figura 11.

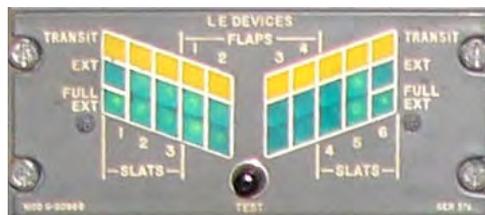


Figura 13: Alarmas indicadoras de despliegue de Flaps de Borde de Ataque, y Slats.

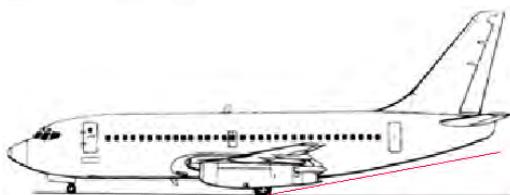


Figura 14: Vista del B-737-204C donde se observa el ángulo de rotación máximo admisible.

ES COPIA  
1 PR-3142-050  
VEIS = 151

B-737		FL	
0/A	2.01	✓	1.98
A/C	EPR	✓	EPR
-72	9.4	✓	9.3
MACH	H <sub>L</sub>	✓	H <sub>L</sub>
5°	V <sub>1</sub> 136	✓	46000
FLAPS	V <sub>R</sub> 138	✓	47800
C.G.	V <sub>2</sub> 142	✓	47800
STAB. TRIM	5	✓	RWT: ACT
37500	8500	✓	RWT: ACT
T/W	TO FUEL	✓	46000
19	10140	✓	TO GW
TEMP	ONH	✓	W/C
	95/11/20	✓	
	PAX	✓	

Figura 15: Tarjeta pre computada para el “seteo” de parámetros del vuelo 3142 LAPA



4. Explicación Física y Modelo Matemático de lo Ocurrido

Todos estos dispositivos tienen por objeto acondicionar aerodinámicamente la aeronave para las diferentes condiciones de vuelo, incluido el despegue y el aterrizaje. Para poder comprender esto de mejor manera, es importante adentrarnos en los modelos matemáticos de justificar sus funciones. La ecuación fundamental a tener en cuenta es la sustentación que en todo momento debe equilibrar la componente del peso en la dirección de la misma. Estos modelos son comúnmente definidos como ecuaciones cuyo origen proviene de la “teoría de modelos”, que obviamente no se discute en este trabajo, pero pueden observarse en muchos libros de Aerodinámica Teórica, Mecánica del Vuelo, Aerodinámica Aplicada, etc.

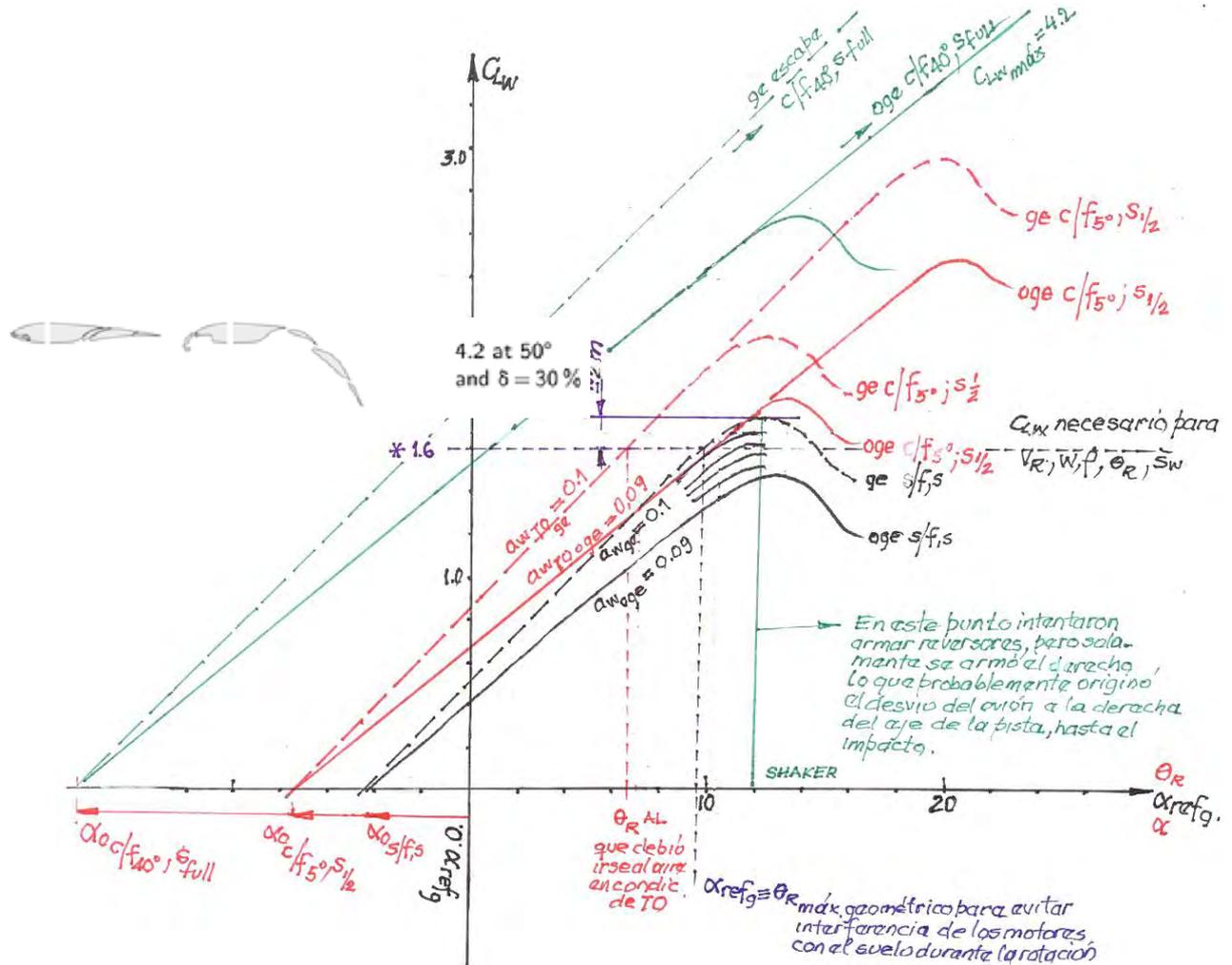


Figura 16: Gráfico de los Coeficientes de sustentación, las pendientes aerodinámicas en vuelo libre, y en “efecto suelo” para tres configuraciones de hipersustentadores

En cualquier condición de vuelo la ecuación general es:

$$L_w = \frac{1}{2} \rho_h V_{TAS}^2 a_w \alpha_w S_w \cos \gamma \geq |W_{T.O.}| \quad (1) \quad \text{para el caso particular del vuelo horizontal se transforma en:}$$

$$L_w = \frac{1}{2} \rho_h V_{TAS}^2 a_w \alpha_w S_w \geq |W_{T.O.}| \quad (2) \quad \text{Que al momento de la “Rotación”}^{12} \text{ se vuelve a transformar debido al conocido como “Efecto Suelo”}^{16}:$$

$$L_{w_{T.O. ge}} = \frac{1}{2} \rho_h V_{R_{TAS_{T.O.}}}^2 a_{w_{T.O. ge}} (\theta_{g_{Rot_{T.O.}}} + \alpha_{0w}) S_{w_{T.O.}} \geq |W_{T.O.}| \quad (3) \quad \text{Donde } a_{w_{T.O. ge}} \text{ es la pendiente de la cuerda de la función, que pasa por el origen de la función:}$$

$$C_{L_{w_{ge}}} = f(\theta_{g_{Rot_{T.O.}}} + \alpha_{0w})_{ge} \quad (4) \quad \text{La ecuación (3) representa como debiera haberse encontrado la aeronave al ingresar a la pista, que, expresada en términos de la velocidad terrestre.}$$

<sup>16</sup> “Efecto Suelo”: Fenómeno Aerodinámico que genera varias características en la aeronave que la diferencian del comportamiento en vuelo afuera de dicha zona. Se lo explica en detalle en el texto.



$L_{w_{geT.O.}} = \frac{1}{2} \rho_o V_{R_{IAS_{T.O.}}}^2 a_{w_{T.O.ge}} (\theta_{g_{Rot_{T.O.}}} + \alpha_{0w}) S_{w_{T.O.}} \geq |W_{T.O.}|$  (5) Esta es la ecuación (4) con la aeronave configurada para el despegue (Ver Figuras 3, 4, 5, y 6), expresada en términos de Velocidad Indicada.

$\rho_o = 0,125 \text{ Kg} \cdot \text{s}^2 / \text{m}^4$  (6) Densidad del aire a nivel del mar en Atmósfera Estándar.

$V_{R_{IAS_{T.O.}}} = 138 \text{ Kt}$  (7) Velocidad de Rotación Indicada (IAS), obtenida del correspondiente Manual de Vuelo para la configuración de Flaps requerida, como puede verse en la “Tarjeta Pre computada de Seteo” (Figura que corresponde a:

$a_{w_{T.O.ge}} = 0,1 \frac{1}{g}$  (8) Donde en nuestro caso  $a_{w_{T.O.ge}}$  es la pendiente de la cuerda de la función, que pasa por el origen de la función (9), y que corresponde a Flaps T.E: 5°, Slats, 1/2 desplegados, y Flaps Krüger (L.E.), full desplegados.

$C_{L_{w_{ge}}} = f(\theta_{g_{Rot_{T.O.}}} + \alpha_{0w})_{ge} = 1,6$  (9) Coeficiente de sustentación correspondiente al producto de  $a_{w_{T.O.ge}} (\theta_{g_{Rot_{T.O.}}} + \alpha_{0w})_{ge}$

$\theta_{g_{Rot_{T.O.}}} = 10^\circ$  (10) El ángulo de la trayectoria (o en este caso, la pendiente de pista, que hemos considerado nula por simplicidad) valen:

$\gamma = \theta_{g_{Rot_{T.O.}}} - \alpha_{Rot}$ . Como en este caso,  $\gamma = 0$ , se cumple que

$\theta_{g_{Rot_{T.O.}}} = \alpha_{Rot}$ , y, por último:

$S_{w_{T.O.}} = 96 \text{ m}^2$  (11) Superficie del ala, configurada para Flaps a 5°, se incrementa en un 5%. (sobre los 91 m<sup>2</sup> con las alas “limpias”).

La ecuación (3), expresada en términos de la Velocidad Terrestre, más el efecto del viento, negativo, si es en contra, definida para entender cuál fue la velocidad terrestre de la aeronave en la pista, y la ecuación (5) expresada en términos de la Velocidad Indicada (formalmente la CAS, o Velocidad Indicada corregida por errores de ubicación del Tubo de Pitot y Tomas de Presión Estática), representan como debió haber entrado el avión a la pista esa noche fatídica, mientras que la ecuación (12), representa como realmente entró:

$L_{w_{ge}} = \frac{1}{2} \rho_o V_{R_{IAS_{T.O.}}}^2 a_{w_{ge}} (\theta_{g_{Rot_{T.O.}}} + \alpha_{0w}) S_w \geq |W_{T.O.}|$  (12) Donde la diferencia reside especialmente en:

$a_{w_{ge}} < a_{w_{T.O.ge}}$  (13) Se muestra en la Figura 15.

$\theta_{g_{Rot_{T.O.}}} = 10^\circ$  (14) La misma, aunque probablemente, haya que haber aplicado más demanda de Elevador (tirar más del control de Pitch).

Con todo lo expresado matemáticamente, está claro que la sustentación de la aeronave una vez efectuada la rotación, representada por la ecuación (12) es muy inferior a la Sustentación que debió haber tenido, representada por la (5), esto es  $L_{w_{ge}} < L_{w_{geT.O.}}$ , lo que muestra física y matemáticamente lo sucedido.

## 5. Conclusiones Finales

1. Dado que los pilotos no sabían la configuración de la aeronave para el despegue no había sido selectada,  $S_w < S_{w_{T.O.}}$ ,  $a_{w_{ge}} < a_{w_{T.O.ge}}$ , y consecuentemente  $L_{w_{ge}} < L_{w_{geT.O.}}$ . Todos estos factores influyeron en el hecho que, al mantenerse la misma velocidad de rotación  $V_{R_{IAS_{T.O.}}}$  correspondiente al peso  $W$  de la aeronave, se debió haber cumplido que  $W = 46.060 = L_{w_{geT.O.}}$ , pero con la aeronave sin configurar, la sustentación  $W = L_{w_{ge}}$  resultó ser igual al peso, pero solo en el efecto suelo y hasta 1-2 metros de altura aproximadamente, lo que originó que al estirarse los amortiguadores los sensores que “informan” que la aeronave estaba en vuelo (“Squat Switches”), que están ubicados en los amortiguadores principales, y se activan cuando estos están estirados, pasaron la aeronave al modo vuelo y el sistema de “Stall Warning”, activó el “Shaker” de las columnas de comandos que se siente en las grabaciones del “CVR”<sup>17</sup>. Como el ángulo de rotación fue el mismo (10° aproximadamente), ya que está limitado a un máximo de 15°, debido a la geometría de la aeronave (que la cola o la cola del Avión o de los reversores de empuje, no roce el suelo- Figura 14). La sustentación generada por el efecto suelo, aunque sin configurar la aeronave  $L_{w_{ge}}$ , resulta ser ligeramente superior al

<sup>17</sup> “CVR”: Cockpit Voice Recorder (Grabador de Voces de Cabina) y de todas las comunicaciones.



peso de despegue de la aeronave, quedando el avión “flotando” con  $L_{wge}$  con 1 o 2 metros de altura. La aeronave intentó volar, pero solo mientras fue ayudada por el efecto suelo, el que decrece muy rápidamente con la separación de la aeronave del piso. Esto se puede ver en la gráfica de la Figura 16. El resto fue desconcierto y decisión de abortar del despegue, sin suficiente pista para frenar sin éxito, con el resultado conocido.

2. Los reversores de empuje, se hallaron con muchos daños, pero se observó que los impulsores hidráulicos del motor izquierdo se hallaban en la posición correspondiente a reversor cerrado, mientras que los del motor derecho se encontraban en la posición opuesta. Por esta razón tal vez, el avión viró a la derecha.
3. Los Flaps extendidos para la condición de despegue, cumplen la función de entregar la misma sustentación a menor velocidad, permitiéndole despegar con una carrera más corta que la que sería necesaria de hacerlo sin Flaps. El principal detalle encontrado entre los restos del avión fue que todos los tornillos sinfin de los actuadores de flaps que se examinaron estaban en su posición de retracción máxima, indicando que los Flaps **no se hallaban desplegados**. Esto guarda coherencia con el hecho de que la palanca de Flaps en la cabina estaba en posición de Flaps retraídos, que la lectura del FDR también indicaba que los mismos se hallaban retraídos, y que las luces de Flaps de Borde de Ataque y de Slats, se hallaban apagadas, indicando también que los mismos no estaban extendidos. (Figura 13).
4. Además, el sonido de 800 Hz. de la alarma registrada en el CVR indica que se trataba de la **alarma de configuración para despegue**, esta alarma indica en estos modelos de 737, tres cosas distintas, (1) Desconfiguración de Flaps para el Despegue, (2) Compensador de pitch fuera del arco verde, (3) Flaps de Borde de Ataque y Slats, sin extender (lo que sería una falla operativa). Sin embargo, debe destacarse que a juicio profesional del autor se trata de un error de diseño ya que las alarmas sonoras constituyen un código fonético rudimentario, que representan 3 causas distintas, que complican la interpretación de lo que ocurre, como cuando las palabras en cualquier idioma tienen más de un significado.
5. Falta de disciplina de los tripulantes, que no ejecutaron la mandatoria orden del fabricante de abortar inmediatamente el despegue y de comprobar la falla ante la alarma sonora de 800 hz (Alarma de configuración) que comenzó a escucharse al dar motor, y continuó sonando hasta el intento de rotación. El procedimiento indica que ante una alarma de esas características (800 Hz), se debe proceder a abortar directamente la operación sin excepción, para luego chequear el problema. Exceso de conversaciones ajenas al vuelo, y por momentos de intensidad emocional importante entre los pilotos y la Comisario, que se mezclaron con el desarrollo de las listas de control de procedimientos, llegándose a omitir la parte de estas últimas donde se debía cumplimentar la extensión de Flaps para despegue, y repitiendo ítems ya cumplidos en reiteradas oportunidades.
6. Problemas personales y/o familiares y/o económicos y/o de otra índole de ambos pilotos, que incidieron en su comportamiento operacional.
7. Insuficiencia del sistema de control psicológico, por parte de la empresa, que no permitió detectar cuándo los pilotos estaban sufriendo problemas personales y/o familiares y/o de otro tipo que influían sobre su capacidad. Sobre este aspecto la sentencia declaró que “la normativa vigente al momento de los hechos no obligaba a las empresas aerocomerciales a controlar en su aspecto psicológico a los empleados de vuelo”.
8. Controles muy laxos en el comportamiento de los pilotos en los “Recurrents”, que en el caso del Comandante era reiterativo, en sus calificaciones.
9. **Desconocimiento fehaciente del Copiloto de que cosa representaba la alarma sonora**, que, a juicio de los peritos, era la primera vez que la escuchaba, derivada, al momento de la investigación que, los Copilotos no efectuaban el tramo “Inicial” de su formación con la totalidad de las horas de Simulador requeridas reemplazándolas por una formación local, donde para escuchar el sonido de la alarma era necesaria una configuración muy compleja de una aeronave en tierra.
10. Creencia muy arraigada en nuestro país entre las empresas operadoras de aeronaves de alta tecnología, e incluso de los organismos de gobierno encargados de otorgar a los Pilotos Licencias y Habilitaciones Especiales (FAR PART 25), que los Copilotos o Ieros. Oficiales, constituyen un Comandante o Capitán a medio formar, cuando las normas internacionales establecen claramente que ser 1er Oficial, es una cuestión de índole administrativa y no operativa, y que su formación debe ser la misma que la de los Capitanes o Comandantes, ya que deben estar preparados para tomar el mando de la aeronave en las condiciones más adversas.
11. Conocimiento y trato de confianza sobre cuestiones muy personales y extralaborales entre los pilotos e incluso con la Comisario de Abordo, que facilitó el ambiente de escasa seriedad y concentración en las tareas operacionales.
12. Antecedentes de características de vuelo negativas del Copiloto, que se manifestaron durante el cumplimiento de las listas de control de procedimientos, en una cabina donde sus ocupantes participaban de una atención totalmente dispersa en intereses particulares ajenos al vuelo, aunque de los audios surge que fue quien más intentó completar las Listas de Checkeo.
13. Costumbres muy arraigadas en todas las Líneas Aéreas de nuestro País, en las que los **Flying Pilots**, si son **1ros. Oficiales** lo hacen de la posición derecha, cuando la cabina, está diseñada asimétricamente, reservando los controles necesarios, no duplicados, para el piloto que vuela, con independencia de su función abordo, situaciones en las que los Comandantes o Capitanes, deben ejercer la función de Instructor, sentándose a la derecha y cumplir las funciones de **Not Flying Pilot**. En este accidente, de haber estado el Piloto Asistente (Weigel), sentado a la derecha, el accidente no hubiese existido, ya que conocía el significado de las alarmas de 800 Hz. Y podría haber visto que la palanca de Flaps, que por esto está a la derecha muy visible, esta seteada en Flaps “0” grados. Podría haber colocado el flap en carrera (obviamente prohibido por el fabricante), evitando el incremento de resistencia al avance que produjo la rotación a una velocidad incompatible con la configuración. También esto obligo a que se superpongan funciones de uno y otro, cuando por ejemplo el



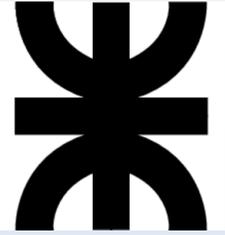
Comandante debió “meter la cabeza adentro” de la cabina abandonando el control de dirección de la aeronave a baja velocidad (Ver Figura 7).

14. La Velocidad de decisión  $V_I$  está pensada para el caso de detención repentina de un motor a esa velocidad o antes, la aeronave pueda ser frenada dentro de a pista, o a esa velocidad la aeronave con una detención de un motor le alcance para proseguir el vuelo y superar un obstáculo de 50 pies o 15 metros. Si ambas son iguales constituyen operación con “pistas balanceadas”. Cuando una de las dos situaciones no es posible, se deben dotar a los aeropuertos de Zonas de Detención de emergencia (**Stop Ways**), o Zonas Libres de Obstáculos para el vuelo (**Clear Ways**), según corresponda.
15. En el Aeroparque Metropolitano “Jorge Newbery” la operación del los 737-200, con Full peso de despegue de **52390 Kg, (6.000 adicionales a los del avión accidentado)**, resulta ser una operación marginal en la condición más crítica. (Falla de un Motor en  $V_I$ ).
16. Por último, cabe señalar que existen, aunque esporádicamente fallas de aeronaves que debieran generar abortaje del despegue que nada tienen que ver con el paradigma de la  $V_I$ . Como la ocurrida con esta aeronave, ya que los errores humanos existen y las fallas mecánicas también, Se deben minimizar mitigando los riesgos con una adecuada estructura organizacional, seria y entendiendo que la operación aérea es costosa, De hecho, de haberse encontrado la aeronave, por ejemplo, en la pista 11 de Ezeiza, este accidente no hubiese ocurrido.

**Existe un viejo axioma que reza: “Si Ud. cree que el mantenimiento de las tripulaciones entrenadas, y con la mayor cantidad de Controles vigentes resulta caro, Pruebe Con Un Accidente”.**



Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional General Pacheco.  
2do CONGRESO sobre MEDIOS de TRANSPORTE y sus TECNOLOGÍAS ASOCIADAS  
Grl. Pacheco, 11 – 13 de Septiembre de 2019



# Proyecto de auto eléctrico en la Facultad Regional General Pacheco GRUPO GITEVE

Dr. Gustavo Cazzola, Ing. Leandro Brandi, Ing. Mario Brunello, Ing.

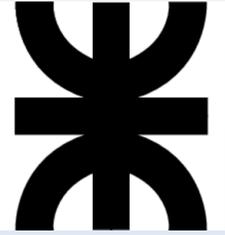
Damián Sacchi, Esp. Ing. Juan Dusau

Estudiantes: Joel Bazan, Emilio Hernandez, Facundo Crespo,

Federico Lipka



**Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional General Pacheco.**  
**2do CONGRESO sobre MEDIOS de TRANSPORTE y sus TECNOLOGÍAS ASOCIADAS**  
**Grl. Pacheco, 11 – 13 de Septiembre de 2019**



- 1- Motivación**
- 2- Objetivos**
- 3- Estado de avance**
- 4- Próximos pasos**

# 1- Motivación <sup>223</sup>

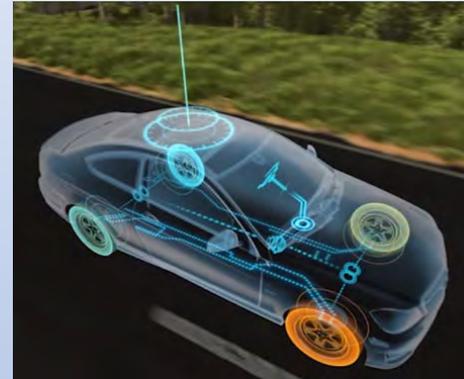
## Proyecto de investigación Vinculado con Tesis Doctoral

Estrategia de distribución dinámica del Torque para la propulsión de un vehículo eléctrico con tracción independiente en las dos ruedas traseras.

### Objetivo principal:

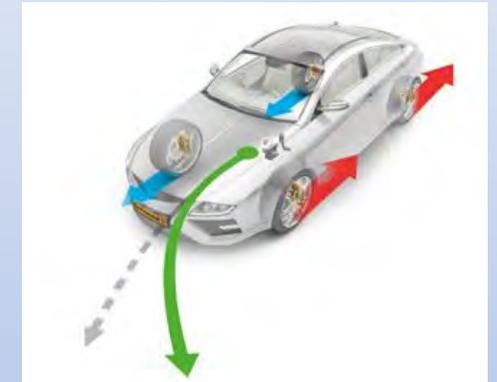
Realizar un estudio comparativo de las estrategias existentes de distribución dinámica del torque

- La estabilidad
- Consumo energético



### ESP

- ON-OFF control
- By means of:
  - Friction brakes
  - Wheel torques (-)



### TV

- At any instant of time
- By means of:
  - Friction brakes
  - Wheel torques (+/-)

file:///C:/Users/user/Downloads/Torque-

Vectoring%20Control%20in%20Fully%20Electric%20Vehicles%20via%20Integral%20Sliding%20Modes.pdf

## 2- Objetivos <sup>224</sup>

### Estudio Comparativo de estrategias de TV existentes



Prototipo  
E GITEVE

- MATLAB/Simulink
- CARSIM

### 3- Estado de avance

## VINCULACIÓN: VEHICULO VIRTUAL Y VEHICULO REAL

# INSTRUMENTACIÓN

STEERING ANGLE SENSOR  
(SENSOR ANGULO DE DIRECCION)



HALL WHELL SPEED SENSOR  
(SENSOR HALL VELOCIDAD DE RUEDA)



DATA LOGGER (MOTEC)  
(SISTEMA DE ADQUISICION)



YAW RATE SENSOR  
( SENSOR ANGULO DE GUIÑADA)



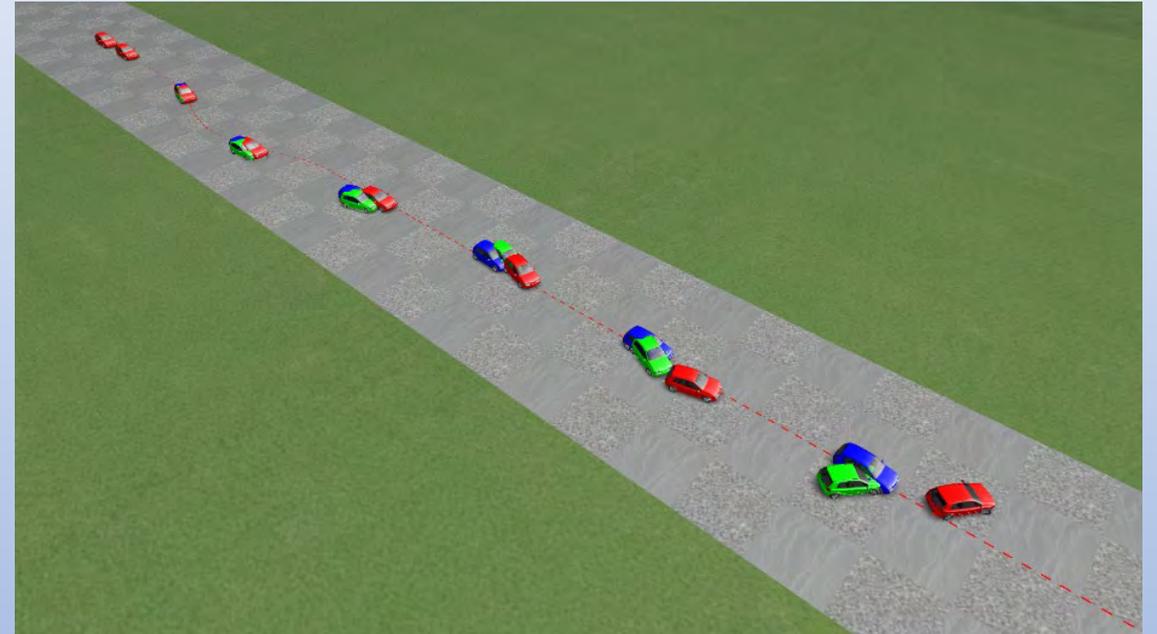
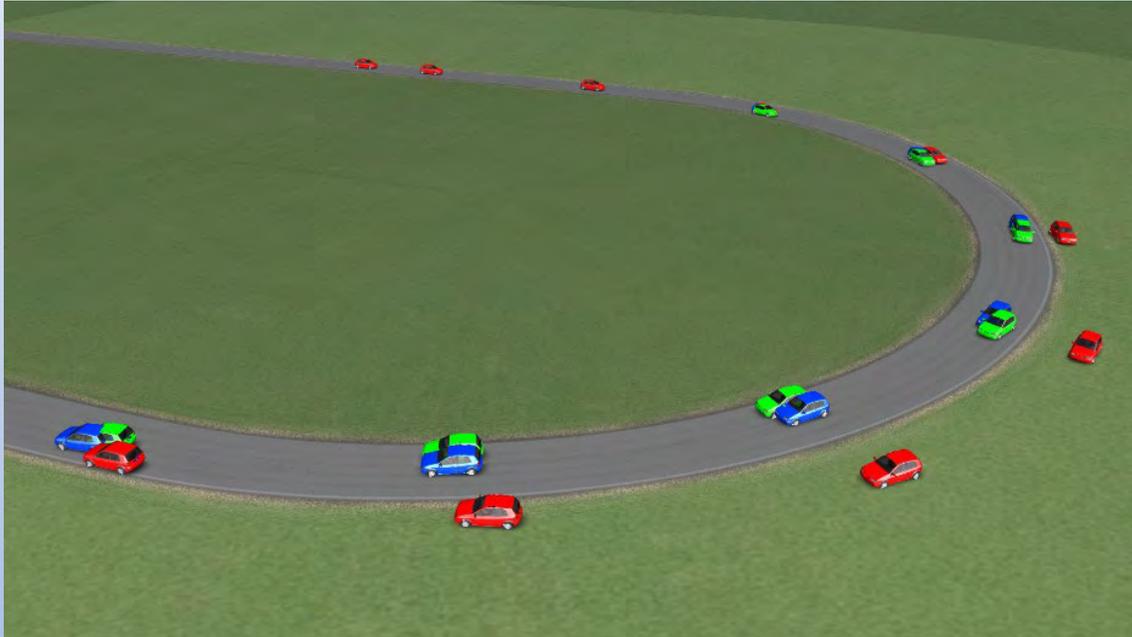
IMU SENSOR  
( SENSOR UNIDAD DE MEDIDAS INERCIALES)



## 2- Objetivos <sup>226</sup>

- Sliding Mode Control
- LQR
- MPC

### Simulación de Diferentes Estrategias de Control



MPC based Rear Wheel Torque Vectoring Near the Limits of Handling, Efstathios Siampis, Dr Efstathios Velenis, Dr Stefano Longo, Cranfield University, UKACC PhD Presentation Showcase

# 3- Estado de avance <sup>227</sup>

**OPEN SOURCE COLLABORATION**

Renault has developed **POM**, a compact lightweight EV with bodywork part removed and an open-source automotive platform.

**HOW DOES IT WORK?**

**#COCREATIVITY**

Start-ups, independent laboratories, private customers, researchers... are able to develop improvements based on Twizy.

**On the hardware:**  
by building their own electric vehicle

**On the software:**  
by building new creative apps

reddot award 2015 winner

The infographic features a central yellow background with a Renault diamond logo. It includes images of the POM car, a hand holding a smartphone with a map app, and a hand holding a car part. A red dot award logo is also present.

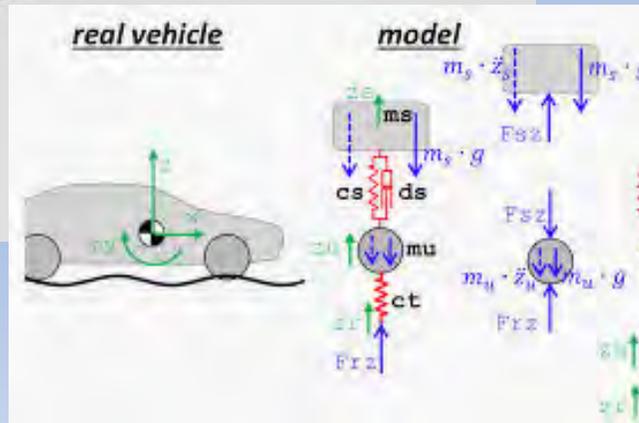
Starting with TABBY EVO for your EV project allows you to save at least 3 years of R&D and 2 million EUR

# 3- Estado de avance <sup>228</sup>

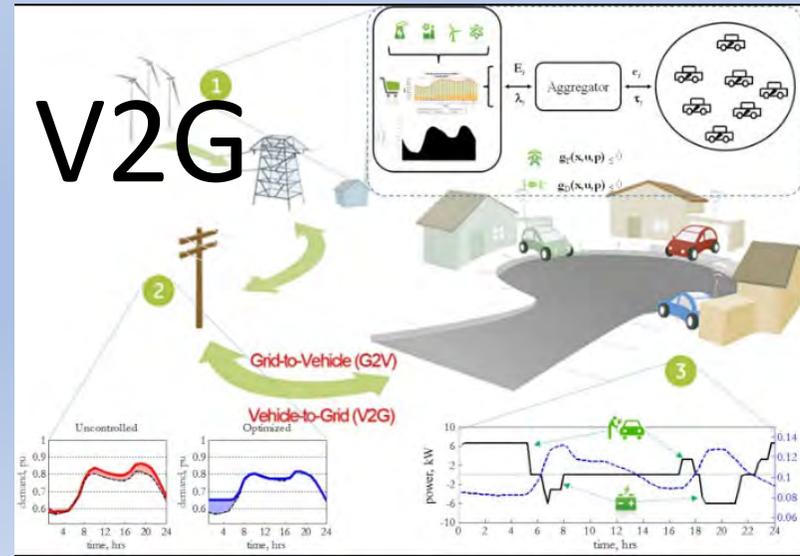


Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional General Pacheco

## E GITEVE



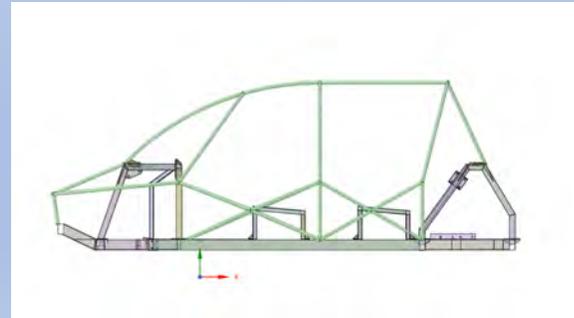
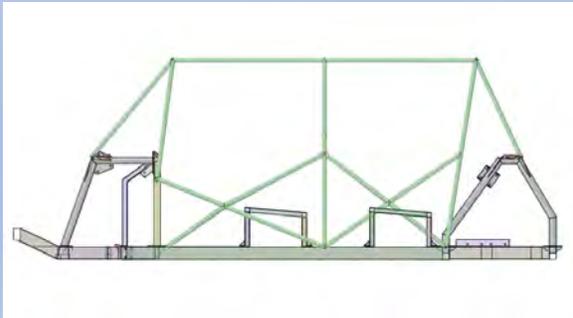
# V2G



### 3- Estado de avance <sup>229</sup>

## DESARROLLO DE UN PROTOTIPO EXPERIMENTAL

### DISEÑO DE JAULA DE PROTECCION PRIMEROS DISEÑOS CONCEPTUALES



### DISEÑO FINAL E-GITEVE



### 3- Estado de avance

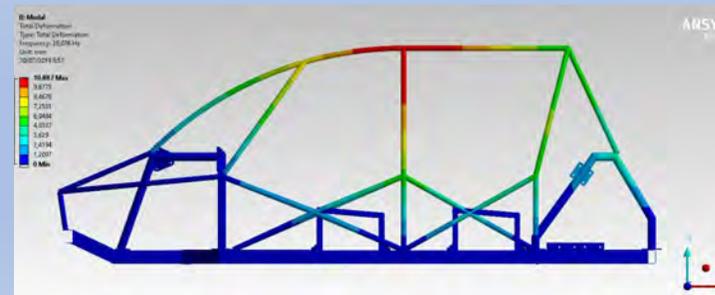
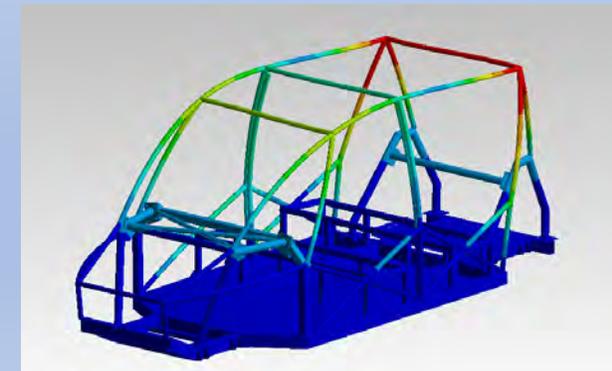
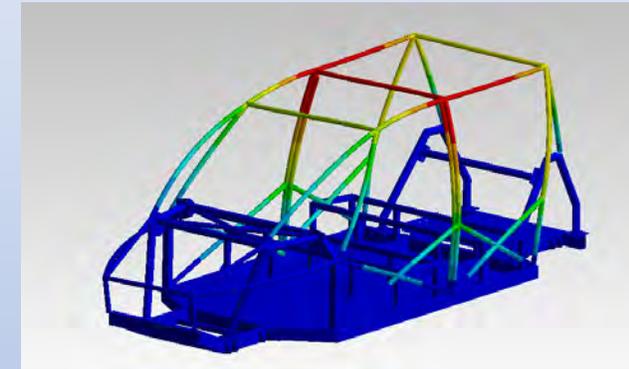
## DESARROLLO DE UN PROTOTIPO EXPERIMENTAL

### DISEÑO DE JAULA DE PROTECCION

### MODELO ELEMENTOS FINITOS - ANALISIS MODAL - SOFTWARE ANSYS



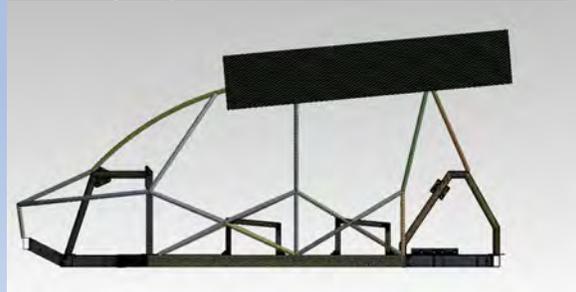
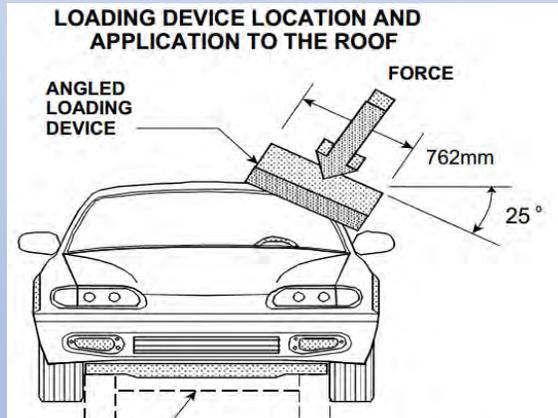
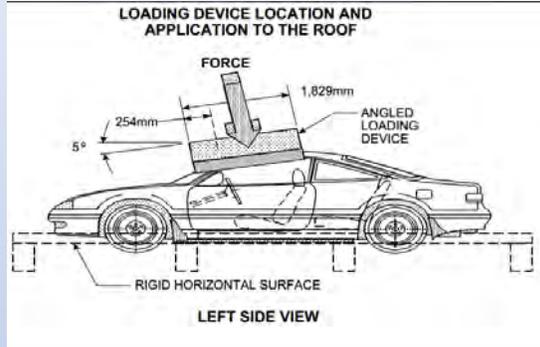
- Análisis Modal
- Masa Total Chasis : 259 Kg
- Material Seleccionado: SAE 1010
- Chasis Inferior Discretización Elemento Bidimensional Tipo "SHELL"
- Jaula Discretización Elemento lineal Tipo "BEAM"
- Condiciones de Contorno "FIXED"
- Baterías "MASS ELEMENT"



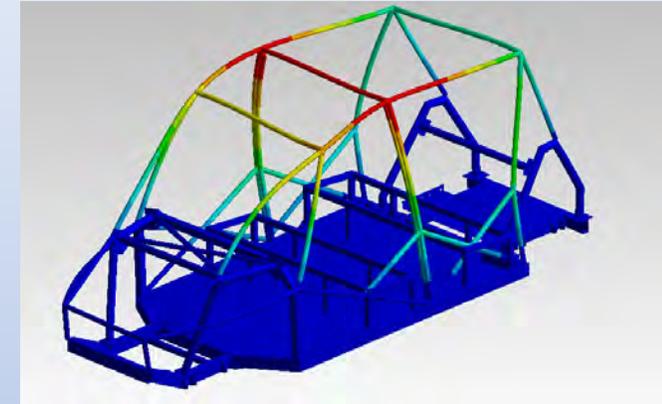
# 3- Estado de avance

## DESARROLLO DE UN PROTOTIPO EXPERIMENTAL

### MODELO ELEMENTOS FINITOS - ANALISIS VUELCO - SOFTWARE ANSYS

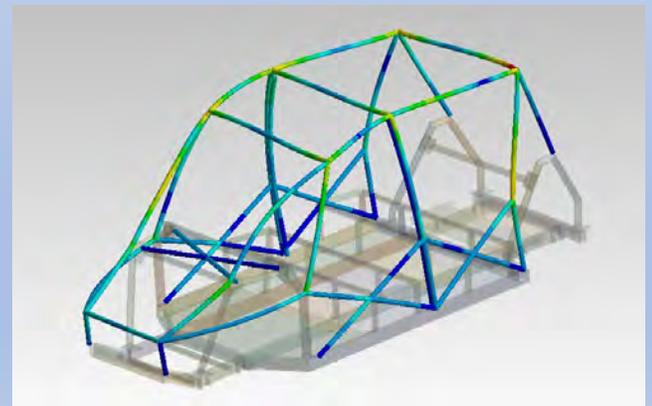


- Normativa: FMVSS 216 Roof Crush Resistance
- Requerimiento Deformación Máxima: 127 [mm]
- Masa Total Chasis : 259 Kg
- Material Seleccionado: SAE 1010
- Chasis Inferior Discretización Elemento Tipo "SHELL"
- Jaula Discretización Elemento Tipo "BEAM"
- Condiciones de Contorno "FIXED"
- Baterías "MASS ELEMENT"
- Carga Cuasiestatica: 9000 [N]
- Placa Rígida



Estado de Deformación Max: 19,9 [mm]

✓ Verifica



Estado de Tension Max: 287 Mpa [mm]

✓ Verifica

## 3- Estado de avance <sup>232</sup>

### SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO



Carcasa	: 132
Potencia	: 12 kW (16 HP-CV)
Peak power	: 23 kW
Battery voltage (nominal)	: 72 V
Battery voltage (minimum)	: 63 V
Battery voltage (maximum)	: 83 V
Corriente nominal	: 192 A
Corriente en vacío	: 105 A
Maximum current	: 384 A
Rotación nominal	: 1760 rpm
Maximum speed	: 6000 rpm
Par nominal	: 65.1 Nm
Peak torque	: 130 Nm

### 233 3- Estado de avance

## SELECCIÓN DE BATERIAS

### Baterías Ciclo profundo



### Baterías de Litio LIFePO4



Peso (con baterías): (kg) 570

Peso (sin baterías): (kg) 430

140 kgrs

### 3- PROXIMOS PASOS

- a) Armado de estructura de vehículo E\_GITEVE\_ Fecha: Marzo 2020
- b) Adquisición de motores: Diciembre 2019
- c) Adquisición de Baterías: Diciembre 2019
- d) Adquisición de los sistemas: Dirección, suspensión y frenos: Febrero 2020

Dimensiones

Dimensiones (mm): 3033 x 1488 x 1380

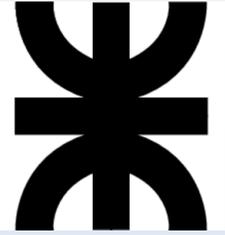
Distancia entre ejes (mm): 2350

**Muchas gracias**

**Preguntas**



**Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional General Pacheco.**  
**2do CONGRESO sobre MEDIOS de TRANSPORTE y sus TECNOLOGÍAS ASOCIADAS**  
**Grl. Pacheco, 11 – 13 de Septiembre de 2019**



# **Estudio de los requisitos de seguridad, pesos y dimensiones para la homologación de vehículos remolcados para transporte de carga.**

**GRUPO DE INVESTIGACION EN TECNOLOGIA  
VEHICULAR (GITEVE)**

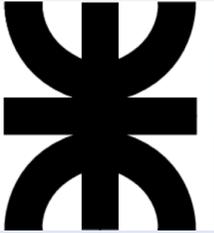
**Cazzola Gustavo José - Arias Rubén Eduardo**

**Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional General Pacheco, Departamento de Ingeniería Mecánica.**

**Hipólito Irigoyen 288, General Pacheco (B1617FRP), Buenos Aires, Argentina**



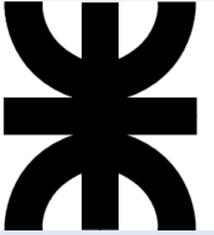
Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional General Pacheco.  
 2do CONGRESO sobre MEDIOS de TRANSPORTE y sus TECNOLOGÍAS ASOCIADAS  
 Grl. Pacheco, 11 – 13 de Septiembre de 2019



## INTRODUCCIÓN: PESOS, DIMENSIONES Y POTENCIA-PESO

✓ En el ART 53 de la Ley de Tránsito 24.449 y en el Anexo R de su Dto Reglamentario 779/95 se fijan las dimensiones y pesos *máximos* y la relación potencia-peso *mínima* que rigen para el transporte de cargas.

Pesos		Potencia - Peso
<p>✓ <b>Peso Bruto Total Combinado (PBTC)</b></p> <p>Total del peso transmitido a la calzada por el vehículo (cargado o vacío)</p> <p><b>Peso del vehículo</b> (tara: tractivo+arrastrado) + <b>Carga</b></p>	<p>✓ <b>Peso por eje:</b> cada configuración de ejes soporta un peso máximo</p> <p>6 ton   10,5 ton   18 ton   25,5 ton</p> <p>6 + 10,5 + 25,5 = <b>Máx PBTC 42 t</b></p>	<p>Relación entre la potencia del vehículo automotor y el PBTC</p> <p>Tracto-camión de 360 CV PBTC = 42 Ton ↓ <b>Relación Potencia-Peso</b> 360 CV / 42 ton <b>8,65 CV/ton</b></p>
<p>El daño causado al pavimento depende del peso por eje, no del PBTC</p>		<p>Mayor Relación P-P: mejor circulación de vehículos pesados</p>



## ESCALABILIDAD: MÁS CARGA EN VEHÍCULOS EXISTENTES

### ✓ Antes: Máximo de 45 toneladas PBTC

Desincentivaba motores potentes y configuraciones de más ejes (incrementaban la tara sin permitir más peso total, restando carga útil)

### ✓ Ahora: El PBTC máximo de cada vehículo es la suma del peso por eje según la configuración

Si la potencia lo permite, en algunas configuraciones se puede llevar más carga manteniendo el peso transmitido a la calzada por eje, es decir sin daños adicionales al pavimento. [ver](#)

### ✓ Ejemplos de Configuraciones beneficiadas: Aumentan su PBTC máximo manteniendo las dimensiones

Camión con acoplado



Ahora:  $6 + 18 + 10,5 + 18 = 52,5 \text{ t}$  + 16% vs 45t

Tractor con semirremolque



Ahora:  $6 + 18 + 25,5 = 49,5 \text{ t}$  + 10% vs 45t

Hasta +20%  
en carga  
neta

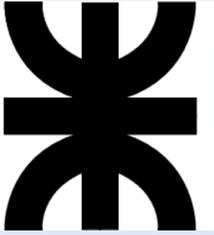
✓ Al mantener sus dimensiones pueden circular sin restricciones por las redes viales actuales sin permisos

### ✓ Vehículos más seguros

- ✓ Mayor potencia–peso mínimo progresivo de 4,25 CV/ton hoy a 6 CV/ton en 2023. Mejor circulación: evita accidentes
- ✓ Material Remolcado: frenos ABS obligatorios en 0km desde 2018, en adaptados desde 2020.
- ✓ Tractores: sistemas de freno antivuelco en unidades 0km a partir de 2022.



Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional General Pacheco.  
2do CONGRESO sobre MEDIOS de TRANSPORTE y sus TECNOLOGÍAS ASOCIADAS  
Grl. Pacheco, 11 – 13 de Septiembre de 2019



## BITRENES: NUEVOS VEHÍCULOS CON MAYOR CARGA

### Largos y pesos máximos permitidos según tipo de circulación permitida

#### Libre circulación Red Vial Nacional



Largo  $\leq 22,4\text{m}$  | 60 ton | 7 ejes

#### Circulación por corredores



$22,4 < \text{Largo} \leq 25,5 \rightarrow$  Libre

75 T | 9 ejes

$25,5 < \text{Largo} \leq 30,25 \rightarrow$  Con Permisos

- ✓ Habilitación de corredores según avance de obras de mejora vial
- ✓ Simplificación del proceso de solicitud de permisos
- ✓ En el futuro el Ministerio podrá modificar pesos y dimensiones sin acudir a decretos

### Vehículos última generación

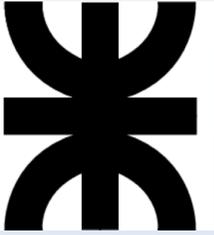
- ✓ Mayor potencia-peso (6,75cv/ton): mejor circulación
- ✓ Control Crucero para Cargas Peligrosas
- ✓ ABS y Sistema Antivuelco obligatorios
- ✓ Balanzas de control de peso por eje



Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional General Pacheco.

2do CONGRESO sobre MEDIOS de TRANSPORTE y sus TECNOLOGÍAS ASOCIADAS

Grl. Pacheco, 11 – 13 de Septiembre de 2019



## RESUMEN NORMATIVO: ESQUEMA

Decreto 27/2018 (DNU) – Ley 27445 “Desburocratización y Simplificación” – ene 2018

Modifica la Ley de Tránsito 24.449 permitiendo mayores pesos y dimensiones para los vehículos de carga.

Eleva a 4,25 la relación Potencia / Peso de los vehículos.

Decreto 32/2018. Modifica el Dto. Reglamentario 779/95 de la Ley de Tránsito – ene 2018

Especifica modificaciones en el Anexo R “Pesos y Dimensiones”. Establece configuraciones de vehículos (dimensiones y pesos máximos) y de ejes (pesos máximos transmitidos a la calzada). Determina circulación de los vehículos (libre/corredores). Define antigüedad y medidas de seguridad de los vehículos.

Resolución 884/2018 – Ministerio de Transporte – oct 2018

Manual de Usuario Bitrén + Condiciones para la progresividad de la exigencia de Potencia-Peso 4,25, ABS y EBS.

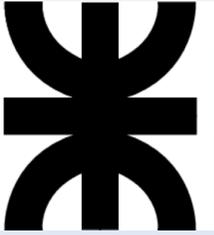
Disposición 54/2018 – Subsecretaría de Transporte Automotor – oct 2018

Tipificación de vehículos y configuraciones. Progresividad Potencia-Peso 6 para unidades escaladas.



241

Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional General Pacheco.  
2do CONGRESO sobre MEDIOS de TRANSPORTE y sus TECNOLOGÍAS ASOCIADAS  
Grl. Pacheco, 11 – 13 de Septiembre de 2019



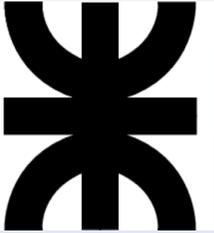
## ADHESIÓN PROVINCIAS – A MAYO 2019

- ▶ El Ministerio se encuentra trabajando en conjunto con las jurisdicciones para avanzar en la aprobación de la normativa y la realización de las obras necesarias para ampliar la circulación de los nuevos vehículos.
- ▶ Catorce provincias adhirieron a la normativa nacional con aprobación de libre circulación de escalados y bitrenes de 60 toneladas.
- ▶ Misiones y Santa Fe habilitaron además corredores provinciales para los vehículos de 75 ton PBTC





Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional General Pacheco.  
2do CONGRESO sobre MEDIOS de TRANSPORTE y sus TECNOLOGÍAS ASOCIADAS  
Grl. Pacheco, 11 – 13 de Septiembre de 2019



## RESUMEN NORMATIVO: DECRETO 27/2018 | ENE-2018

### ➤ “Desburocratización”: Modificación de la Ley de Tránsito 24.449 | [ENLACE](#)

**DNU 27/2018 - Capítulo VI: modifica la Ley de Tránsito. Para el transporte de cargas es relevante que habilita nuevas dimensiones y pesos máximos y eleva la relación mínima de potencia/peso a 4,25 CV/t.**

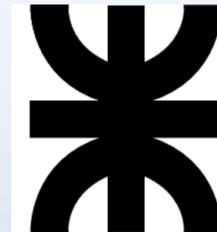
- Se le asignan a la Agencia Nacional de Seguridad Vial funciones de prevención y control de tránsito, junto con Gendarmería Nacional y el control de las propias jurisdicciones.
- Se eleva de 4,10 metros a 4,30 metros el alto total de los vehículos de carga; se mantiene 4,10 para los de pasajeros.
- Se amplía a 30,25 metros el largo total máximo de los vehículos cuando sean de dos semirremolques articulados (bitrenes).
- Se amplía de 14 a 15 metros el largo total máximo para los ómnibus, pudiendo ser menor en ómnibus urbanos.
- Se eleva a 75 toneladas el peso bruto total máximo de los vehículos, en configuraciones reglamentadas.
- Para camión con acoplado o semirremolque, el peso máximo total pasa de 45 toneladas a lo que resulte de su configuración de ejes (según configuraciones habilitadas)
- Se encomienda al Ministerio de Transporte la revisión y modificación futura de los valores establecidos en el artículo (simplificación).



Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional General Pacheco.

2do CONGRESO sobre MEDIOS de TRANSPORTE y sus TECNOLOGÍAS ASOCIADAS

Grl. Pacheco, 11 – 13 de Septiembre de 2019

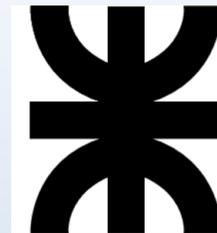


## RESUMEN NORMATIVO: DECRETO 32/2018 | ENE-2018

➤ Modifica el Decreto Reglamentario de la Ley de Tránsito 24.449 | [ENLACE](#)

### Pesos, dimensiones, ejes y tolerancias

- **Vehículos no biarticulados:**
  - Largo máximo
    - ▶ 13,2: camión
    - ▶ 18,6: camión con semirremolque
    - ▶ 20: camión con acoplado
    - ▶ 20,5: semirremolque + acoplado (full tráiler)
    - ▶ 22,4: bateas automovileras y carretones
  - Ancho: 2,6 / Alto: 4,3 (antes 4,1)
  - **Peso máximo: según la suma de los pesos máximos de los ejes (se elimina el límite de PBTC de 45 toneladas) Habilita "escalados"**
  - Relación Potencia-Peso:
    - ▶ 4,25 para PBTC de hasta 45 toneladas
    - ▶ 6 para PBTC superior a 45 y hasta 60 toneladas (exclusive)
- **Bitrenes (vehículos biarticulados) :**
  - Ancho: 2,6 / Alto 4,3
  - Relación Potencia-Peso: 6,75
  - Máximos de Largo y PBTC
    - ▶ Libre por la red nacional: 22,40 m / 60 ton (7 ejes)
    - ▶ Libre por corredores: 25,5m / 75 ton (9 ejes)
    - ▶ Con permiso por corredores: 30,25m / 75 ton (9 ejes)
- **Ejes:** Se explicitan taxativamente los pesos máximos a transmitir a la calzada por cada tipo de eje, tándem (2) y trídem (3), incluyendo configuraciones de ejes con ruedas superanchas.
- **Cubiertas Superanchas**
  - ▶ Se modifican los pesos máximos a transmitir a la calzada en los en tándem y trídem de cubiertas superanchas.
  - ▶ Se detallan las posibilidades de adaptación de los vehículos y la suspensión para el uso de cubiertas superanchas.
- **Tolerancias: Se amplían las tolerancias de pesaje por eje:**
  - ▶ Eje simple 2 ruedas de 500kg a 800kg
  - ▶ Eje simple 4 ruedas de 1.000kg a 1.500kg
  - ▶ Tándem doble: de 1.500kg a 2.000kg
  - ▶ Tandem triple (trídem): 2.000 kg a 2.500kg

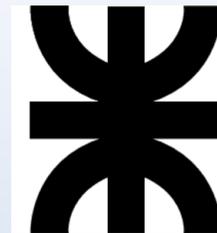


## RESUMEN NORMATIVO: DECRETO 32/2018 | ENE-2018

### Configuraciones de ejes habilitadas y pesos máximos tolerados | [ENLACE](#)

CONFIGURACIÓN		SUSPENSIÓN MECÁNICA [toneladas]	SUSPENSIÓN NEUMÁTICA [toneladas]
Eje Simple. Ruedas individuales, (neumáticos no superanchos)		6 SEIS	6,3 SEIS COMA TRES
Eje Simple. -Ruedas superanchas		6 SEIS (8 OCHO – maquinaria especial)	8 OCHO
Eje Simple. -Ruedas dobles		10,5 DIEZ COMA CINCO	11 ONCE
Conjunto (Tándem) doble de ejes. -Ruedas individuales		10 DIEZ (5 por eje)	10,5 DIEZ COMA CINCO (5,25 por eje)
Conjunto (Tándem) doble de ejes. -Ruedas dobles		18 DIECIOCHO (9 por eje)	18,9 DIECIOCHO COMA NUEVE (9,45 por eje)
Conjunto (Tándem) doble de ejes. -Ruedas superanchas y ruedas dobles		15 QUINCE (9 eje con ruedas doble y 6 eje de ruedas superanchas)	16,5 DIECISEIS COMA CINCO (9,5 eje con ruedas doble y 7 eje de ruedas superanchas)
Conjunto (Tándem) doble de ejes. -Ruedas individuales y ruedas dobles		14 CATORCE (9 eje con ruedas doble y 5 eje de ruedas individuales)	14,7 CATORCE COMA SIETE (9,45 eje con ruedas doble y 5,25 eje de ruedas individuales)

CONFIGURACIÓN		SUSPENSIÓN MECÁNICA [toneladas]	SUSPENSIÓN NEUMÁTICA [toneladas]
Conjunto (Tándem) doble de ejes. -Ruedas superanchas		12 DOCE (6 por eje)	14 CATORCE (7 por eje)
Conjunto (Tándem) triple de ejes. - Ruedas dobles		25,5 VEINTICINCO COMA CINCO (8,5 por eje)	26,8 VEINTISEIS COMA OCHO (8,93 por eje)
Conjunto (Tándem) triple de ejes. - 2 ejes con ruedas dobles - 1 eje con ruedas individuales		21 VEINTIUNO (8,5 ejes con ruedas doble y 4 eje de ruedas individuales)	22 VEINTIDOS (8,93 ejes con ruedas doble y 4,2 eje de ruedas individuales)
Conjunto (Tándem) triple de ejes. -Ruedas superanchas		18 DIECIOCHO (6 por eje)	19,5 DIECINUEVE COMA CINCO



## RESUMEN NORMATIVO: DECRETO 32/2018 | ENE-2018

### Configuraciones de vehículos de libre circulación | [web VIALIDAD](http://web.VIALIDAD)

N°	TIPO DE VEHÍCULO	CONFIGURACIÓN N° DE EJES	DIMENSIONES MÁXIMAS			PESO MÁXIMO (t)	Relación POT/PESO (CV/T) máx.
			LARGO (m)	ANCHO (m)	ALTO (m)		
1		S1 - D1	13,20	2,60	4,30	16,50	4,25
2		S1 - D2	13,20	2,60	4,30	24,00	4,25
3		S1 - D3	13,20	2,60	4,30	31,50	4,25
4		S2 - D2	13,20	2,60	4,30	28,00	4,25
5		S2 - D3	13,20	2,60	4,30	35,50	4,25
6		S1 - S1 - D2	13,20	2,60	4,30	30,00	4,25
7		S1 - S1 - D3	13,20	2,60	4,30	37,50	4,25
8		S1 - D1 - D1	18,60	2,60	4,30	27,00	4,25
9		S1 - D1 - D2	18,60	2,60	4,30	34,50	4,25
10		S1 - D1 - D3	18,60	2,60	4,30	42,00	4,25
11		S1 - D2 - D2	18,60	2,60	4,30	42,00	4,25
12		S1 - D2 - D1 - D1	18,60	2,60	4,30	45,00	4,25
13		S1 - D2 - D3	18,60	2,60	4,30	49,50	6,00
14		S1 - D1 - D1 - D2	18,60	2,60	4,30	45,00	4,25

N°	TIPO DE VEHÍCULO	CONFIGURACIÓN N° DE EJES	DIMENSIONES MÁXIMAS			PESO MÁXIMO (t)	Relación POT/PESO (CV/T) máx.
			LARGO (m)	ANCHO (m)	ALTO (m)		
15		S1 - D1 - D1 - D1	18,60	2,60	4,30	45,00	4,25
16		S1 - D1 - D1 - D1	20,00	2,60	4,30	37,50	4,25
17		S1 - D1 - D1 - D2	20,00	2,60	4,30	45,00	4,25
18		S1 - D2 - D1 - D1	20,00	2,60	4,30	45,00	4,25
19		S1 - D2 - D1 - D2	20,00	2,60	4,30	52,50	6,00
20		S1 - D1 - D2 - D2	20,00	2,60	4,30	52,50	6,00
21		S1 - D1 - D1 - D1	20,50	2,60	4,30	45,00	4,25
22		S1 - D2 - D2	22,40	2,60	4,30	42,00	4,25
23		S1 - D2 - D1 - D1	22,40	2,60	4,30	45,00	4,25
24		S1 - D2 - D1 - D2	18,60	2,60	4,30	52,50	6,00
25		S1 - D2 - D1 - D1 - D1	18,60	2,60	4,30	55,50	6,00
26		S1 - D2 - D2 - D2	20,50	2,60	4,30	60,00	6,75
27		S1 - D2 - D2 - D2	22,40	2,60	4,30	60,00	6,75

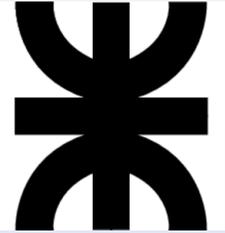
Bitrén

REFERENCIAS

- NUEVA CONFIGURACIÓN
- S1 EJE CON RUEDAS INDIVIDUALES
- S2 DOS EJES CON RODADOS INDIVIDUALES
- D1 EJE CON RODADOS DOBLES
- D2 DOS EJES CON RODADOS DOBLES
- D3 TRES EJES CON RODADOS DOBLES



Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional General Pacheco.  
 2do CONGRESO sobre MEDIOS de TRANSPORTE y sus TECNOLOGÍAS ASOCIADAS  
 Grl. Pacheco, 11 – 13 de Septiembre de 2019



## RESUMEN NORMATIVO: DECRETO 32/2018

➤ **Bitrenes con circulación por Corredores** | [web DNV >>>](#)

**VEHÍCULOS DE TRANSPORTE DE CARGAS QUE NO REQUIEREN PERMISO DE TRÁNSITO, PERO SOLO PUEDEN CIRCULAR POR CORREDORES EN RUTAS NACIONALES DEFINIDOS POR LA DIRECCIÓN NACIONAL DE VIALIDAD -**

ART. N° 27 - APARTADO 2.3.2.

N°	TIPO DE VEHÍCULO	CONFIGURACIÓN N° DE EJES	DIMENSIONES MÁXIMAS			PESO MÁXIMO (t)	Relación POT/PESO (CV/T) mín.
			LARGO (m)	ANCHO (m)	ALTO (m)		
28		S1 - D2 - D3 - D3	22,40 <math>\leq</math> 25,50	2,60	4,30	75,00	6,75

**VEHÍCULOS DE TRANSPORTE DE CARGAS QUE REQUIEREN PERMISO DE TRÁNSITO DE LA DIRECCIÓN NACIONAL DE VIALIDAD PARA LA CIRCULACIÓN EN RUTAS NACIONALES -**

ART. N° 27 - APARTADO 2.3.3.

N°	TIPO DE VEHÍCULO	CONFIGURACIÓN N° DE EJES	DIMENSIONES MÁXIMAS			PESO MÁXIMO (t)	Relación POT/PESO (CV/T) mín.
			LARGO (m)	ANCHO (m)	ALTO (m)		
29		S1 - D2 - D3 - D3	25,50 <math>\leq</math> 30,25	2,60	4,30	75,00	6,75

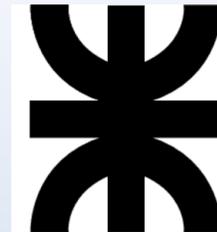
Mapa dinámico con restricciones de puentes:

<https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?mid=1MwlyHNI25dagahDTBsiuDwgmf4lPiC4a&ll=-41.25708457358344%2C-55.6737091890009&z=5>





Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional General Pacheco.  
2do CONGRESO sobre MEDIOS de TRANSPORTE y sus TECNOLOGÍAS ASOCIADAS  
Grl. Pacheco, 11 – 13 de Septiembre de 2019



## RESUMEN NORMATIVO: DECRETO 32/2018 | ENE-2018

### Equipos | [ENLACE](#)

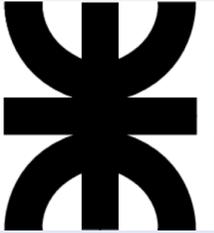
- ◊ Unidades tractoras:
  - ◉ Antigüedad máxima nuevas configuraciones:
    - ▶ 20 años para 45ton<PBTC<52,5 ton
    - ▶ 15 años para PBTC>52,5 ton
  - ◉ Unidades 0km
    - ▶ ABS: obligatorio
    - ▶ EBS (frenado electrónico) y ESC (Antivuelco) obligatorio para tractores de bitrenes ahora, para el resto a partir del 1/1/2022.
- ◊ Semirremolques y acoplados 0km
  - ◉ Configuración D1-D1-D1 ("1+1+1") debe tener suspensión neumática.
  - ◉ Requisitos técnicos especiales para las unidades que transporten más de 45 toneladas: sistemas de frenos con ABS, luces led, paragolpe antiempotramiento y defensas laterales para peatones.
  - ◉ El Ministerio de Transporte dispondrá los plazos a partir de los cuales serán exigibles y en qué condiciones podrán circular hasta entonces.



Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional General Pacheco.

2do CONGRESO sobre MEDIOS de TRANSPORTE y sus TECNOLOGÍAS ASOCIADAS

Grl. Pacheco, 11 – 13 de Septiembre de 2019



## RESUMEN NORMATIVO: DECRETO 32/2018 | ENE-2018

➤ **Modifica el Decreto Reglamentario de la Ley de Tránsito 24.449 | [ENLACE](#)**

### Competencias

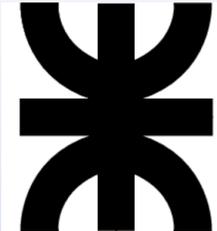
- La CNTSV es la autoridad de aplicación, control y fiscalización de los artículos 53 (“exigencias comunes a los vehículos”: pesos, dimensiones, potencia-peso, etc.) y 57 (“exceso de carga”). La DNV fijará los cánones por disminución de vida útil, multas por sobrepeso, incumplimiento de potencia-peso, etc.
- La DNV estipulará las condiciones de operación y fijará los montos de compensación por reducción de vida útil del pavimento para los vehículos que necesariamente deban circular con peso mayor al permitido.
- La CNTSV será la encargada de dictar las normas complementarias para las características y requisitos de circulación de los bitrenes.
- La DNV determinará los corredores viales de circulación segura de las unidades con circulación restringida con intervención de los la CNTSV (Antes: CNTSV). Deberá expedirse con respecto a la red en el plazo de los 30 días desde la firma del decreto.
- El Ministerio de Transporte dictará las normas complementarias sobre los requisitos de trámites complementarios.

### Otros

- Distancias mínimas de circulación en rutas bidireccionales:
  - hasta 20,5 metros: 40 metros
  - superior a 20,5: 100 metros
- Carretones agrícolas
  - Se especifica un largo máximo de 22,40 para carretones agrícolas o viales (hasta 25 metros con la rampa desplegada)
  - La circulación de carretones agrícolas se rige por el Anexo LL (nuevo).
- Se amplía a 15 metros el largo de los ómnibus interurbanos, 14 metros para doble piso.
- Se aprueban nuevos anexos para Mercancías Peligrosas (Anexo S) y Seguridad Vial (Anexo T)



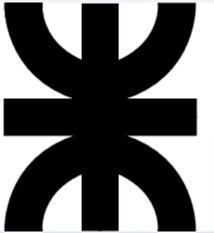
Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional General Pacheco.  
2do CONGRESO sobre MEDIOS de TRANSPORTE y sus TECNOLOGÍAS ASOCIADAS  
Grl. Pacheco, 11 – 13 de Septiembre de 2019



## RESUMEN NORMATIVO: RESOLUCIÓN 884/2018 | OCT-2018

### ➤ Manual de Usuario Bitrén y Progresividad de Potencia-Peso 4,25 , ABS, EBS | [ENLACE](#)

- Se permite circular a los vehículos que posean una relación Potencia / Peso de entre 3,25y 4,25 con hasta 45 toneladas de Peso Bruto Total Combinado (PBTC) hasta el 3 de diciembre de 2022, siempre que no cambien de titular y lo hagan por infraestructuras viales planas sin ondulaciones ni pendientes.
- Semirremolques y Acoplados para equipos no bitrén de más de 45 t. Exigibilidad de medidas de seguridad.
  - Unidades 0km:
    - ▶ ABS desde 2018
    - ▶ EBS desde 1/1/2022.
  - Unidades usadas:
    - ▶ ABS desde 1/1/2020.
- Se establece la libre circulación para todo tipo de carga de los bitrenes de hasta 22,4m (60 toneladas).
- Se establece la libre circulación de 22hs a 7hs en los Accesos a Buenos Aires para los bitrenes de hasta 25,5m (75 toneladas)
- Se aprueba el “Manual del Usuario” para Bitrenes

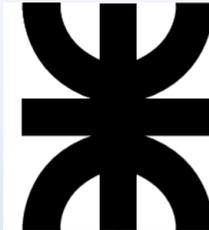


## RESUMEN NORMATIVO: DISPOSICIÓN 58/2018 | OCT-2018

### Tipificación de vehículos y configuraciones. Progresividad Potencia-Peso 6 | [ENLACE](#)

- Se aprueba la tipificación (categorías A, B, C, D, E, F, G) mediante el otorgamiento de la “Revisión Técnica Inicial” de los equipos para facilitar la fiscalización del peso máximo según su configuración (tractor/tractocamión + arrastrados), peso potencia, características de seguridad, etc.
- Podrán expedir la RTI, tanto para unidades 0km como para adaptados (“escalados”) los fabricantes o importadores de Acoplados Semirremolques, los talleres habilitados (Res SSTA 25/09) y los Talleres de RTO de jurisdicción nacional.
- Se incluye en el anexo un modelo de RTI
- Se establecen las condiciones en las que se permitirá escalar a vehículos arrastrados de tipo cisterna.

Cat	Tractores	Cat	Tracto Camiones	Cat	Semirremolques - Carretones	Cat	Acoplados
A	Tractor Bitren 75 t			A	Semi Bitren 75 t - 1° ó 2° especie		
B	Tractor Bitren 60 t			B	Semi Bitren 60 t - 1° ó 2° especie		
C	Tractor ≤ 55,5 t			C	Semi 1D+1D+1D - 55,5 t		
D	Tractor ≤ 52,5 t (con tandem neumático es apto configuración 13 - 52 t - con tandem mixto 51,5 t)	D	Tractor Camión ≤ 52,5 t (6x2)	D	Semi o Carretón 1D+2D - 52,5 t	D	Acoplado 1D+2D - 52,5 t
			Tractor Camión ≤ 52,5 t (4x2)		Semi o Carretón 3D - 52 t Neumático		Acoplado 2D+2D - 52,5 t
E	Tractor ≤ 49,5 t	E		E	Semi o Carretón 3D - 49,5 t		
F	Tractor (45 t)	F	Tractor Camión 45 t (6x2)	F	Semi o Carretón 3D - 45 t	F	Acoplado 1D+2D
			Tractor Camión 45 t (4x2)		Semi o Carretón 1D+2D		Acoplado 1D+1D
			Tractor Camión 45 t (6x2)		Semi o Carretón 1D+1D		
G	Tractor < 45 t	G	Tractor Camión < 45 t		Semi o Carretón 1D, Semi o Carretón 2D, Semi 2S <sup>superanda</sup>		Acoplado 1S+1S



## RESUMEN NORMATIVO: DISPOSICIÓN 58/2018 | OCT-2018

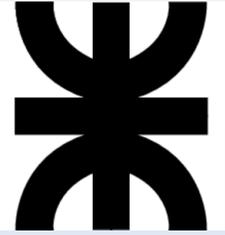
### Tipificación de vehículos y configuraciones. Progresividad Potencia-Peso 6 | [ENLACE](#)

- Se autoriza un esquema gradual para la exigencia de una relación 6 de potencia-peso para los vehículos de más de 45 de PBTC no bitrén (categorías. C-D-E) desde 2018 hasta 2022.
- A partir del 1/1/2023 toda unidad con PBTC mayor a 45 toneladas deberá contar con una relación potencia-peso de 6 CV/t.
- Se incluyen en el cuadro los requisitos de potencia, configuración de ejes y medidas de seguridad activa y pasiva según configuración (del decreto 32/2018) y año de exigencia para material tractivo (camiones y tractocamiones):

	< 45 t	45 t	≤ 49,5 t	≤ 52,5 t	≤ 55,5 t	60 t	75 t
<b>Antigüedad</b>	-	-	≤ 20 años	≤ 20 años	≤ 15 años	≤ 15 años	≤ 15 años
<b>Potencia - Unidades usadas en circulación o nuevas, año modelo 2018 y anteriores</b>	Según PBT <sup>10</sup> o PBTC <sup>11</sup>	≥ 191 CV (ver excepción unidades RUTA)	≥ 220 CV	≥ 223 <sup>12</sup> CV	≥ 333 CV	≥ 405 CV	≥ 506 CV
<b>Potencia - Unidades 0 km<sup>13</sup> - año modelo 2019 y 2020</b>	Según PBT o PBTC	≥ 191 CV	≥ 236 CV	≥ 250 CV	≥ 333 CV	≥ 405 CV	≥ 506 CV
<b>Potencia - Unidades 0 km<sup>14</sup> - año modelo 2021 y 2022.</b>	Según PBT o PBTC	≥ 191 CV	≥ 264 CV	≥ 280 CV	≥ 333 CV	≥ 405 CV	≥ 506 CV
<b>Potencia - Unidades 0 km<sup>15</sup> - año modelo 2023 en adelante.</b>	Según PBT o PBTC	≥ 191 CV	≥ 297 CV	≥ 315 CV	≥ 333 CV	≥ 405 CV	≥ 506 CV
<b>Seguridad Activa</b>	ABS <sup>15</sup>	ABS <sup>15</sup>	ABS <sup>15</sup>	ABS <sup>15</sup>	ABS <sup>15</sup>	ABS, EBS, ESC <sup>17</sup> , ACC <sup>18</sup>	ABS, EBS, ESC <sup>17</sup> , ACC <sup>18</sup>
<b>Freno Motor / Auxiliar</b>						SI	SI
<b>Tracción</b>	4x2	4x2	6x2	6x2	6x2	6x2	6x4



**Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional General Pacheco.**  
**2do CONGRESO sobre MEDIOS de TRANSPORTE y sus TECNOLOGÍAS ASOCIADAS**  
**Grl. Pacheco, 11 – 13 de Septiembre de 2019**



**Muchas gracias por su atención**

---

# La economía argentina y el escenario mundial

Noemí Brenta  
Walter Rodríguez Esquivel

# 1<sup>254</sup> país, 2 monedas

---

- Transacciones domésticas  
Moneda nacional



- Transacciones con el resto del mundo:  
Moneda de uso internacional



# Pagos internacionales

---



Ingresan por: exportaciones, deuda externa, inversión extranjera, etc.



Salen por: importaciones, pagos de deuda externa, de intereses, de ganancias de la inversión extranjera, etc.

Los **pagos internacionales** se hacen en **moneda de uso internacional**



# Sistema monetario internacional

256

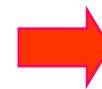


“Conjunto de instituciones que comprenden los arreglos monetarios y de tipos de cambio adoptados por los países para los pagos internacionales” (Krugman)

- Asegurar liquidez internacional ¿cuál?.



- Coordinar las paridades cambiarias entre las monedas nacionales. ¿Cómo?
- ¿Qué puede hacer un país que tiene *déficit* en los **pagos internacionales**? *Ajuste*





# FMI

---



- Organismo de cooperación y consulta internacional en materia cambiaria y de pagos internacionales.
- Inicio actividades: 27 de diciembre de 1945
- 189 países miembros
- Sede: Washington, EE.UU.



# Objetivos del FMI

## Convenio Constitutivo

---



- Fomentar la cooperación monetaria **internacional**.
- Facilitar la expansión y el crecimiento equilibrado del comercio **internacional**.
- Fomentar la estabilidad **cambiaria**.
- Coadyuvar a establecer un sistema **multilateral** de pagos.
- Poner a disposición de los países miembros con **dificultades de balance de pagos** (**internacionales**) los recursos de la institución.

# Aplicación de los recursos del FMI

---



- Financiar dificultades de pagos internacionales
- NO financian salidas de capital
- NO financian déficits fiscales (que son mayormente en moneda doméstica)

# FMI. <sup>261</sup> 189 países miembros

## Capital, cuotas y participación %

10 Primeros Miembros		
País	Mil Mill USD	%
Estados Unidos	116,2	17,46
Japón	43,1	6,48
China	42,7	6,41
Alemania	37,3	5,60
Reino Unido	28,2	4,24
Francia	28,2	4,24
Italia	21,1	3,17
India	18,4	2,76
Rusia	18,1	2,71
Canadá	15,4	2,32
<b>Total</b>	<b>368,7</b>	<b>55,39</b>

155 países restantes	116,1	17%
----------------------	-------	-----

Miembros nº 11 a 34		
Brasil	15,5	2,32
Arabia Saudita	14,0	2,10
España	13,3	2,01
México	12,5	1,87
Holanda	12,2	1,84
Corea	12,0	1,81
Australia	9,2	1,38
Bélgica	9,0	1,35
Suiza	8,1	1,21
Turquía	6,5	0,98
Indonesia	6,5	0,98
Suecia	6,2	0,93
Polonia	5,7	0,86
Austria	5,5	0,83
Singapur	5,4	0,82
Noruega	5,3	0,79
Venezuela	5,2	0,78
Malasia	5,1	0,76
Irán	5,0	0,75
Irlanda	4,8	0,73
Dinamarca	4,8	0,72
Tailandia	4,5	0,68
Argentina	4,5	0,67
<b>Total</b>	<b>180,9</b>	<b>27,2</b>

# Argentina y FMI

---

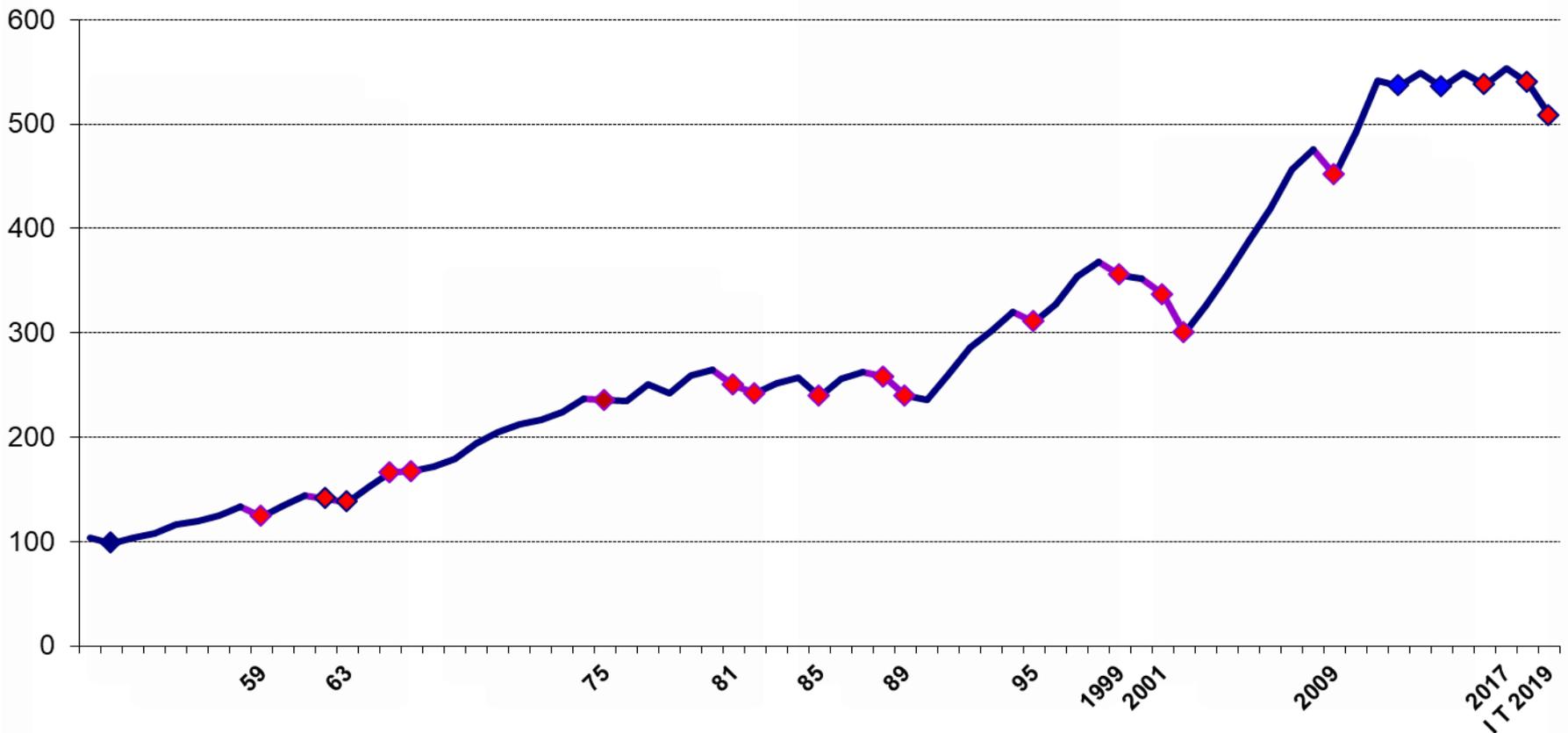


- Ingreso: 31 de agosto de 1956, decreto-ley 15.970.
- En 1956-2006: 38 años bajo programas del FMI
  - 21 stand by
  - 2 facilidades extendidas
  - 3 caída precios expo

# Argentina. PBI 1950- I T 2019

## y crisis de pagos internacionales

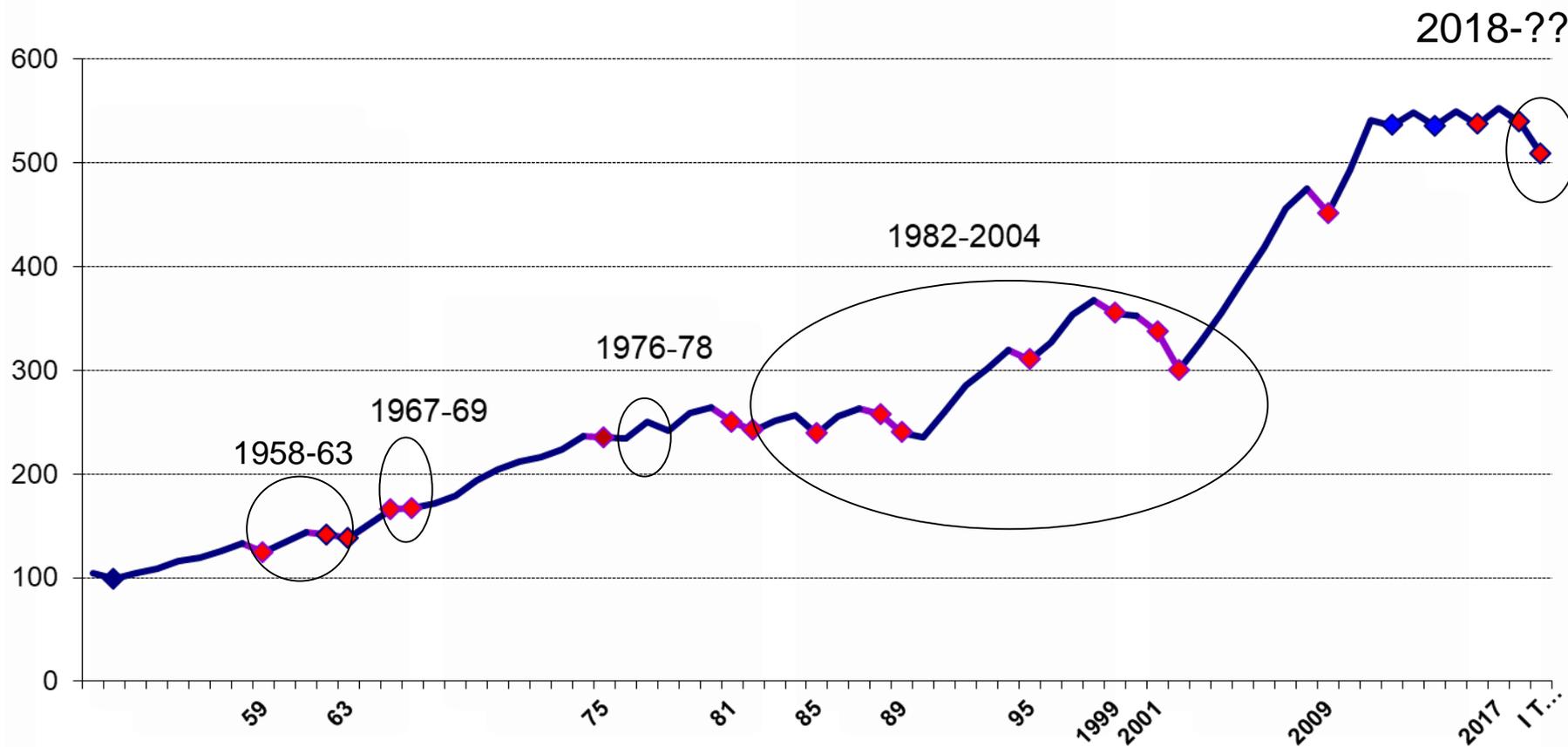
PBI. Índice 1950=100



# Argentina. PBI 1950- I T 2019. Crisis de pagos

## internacionales y acuerdos con el FMI

### PBI. Índice 1950=100



# Argentina. Crecimiento, inflación y desempleo con y sin FMI

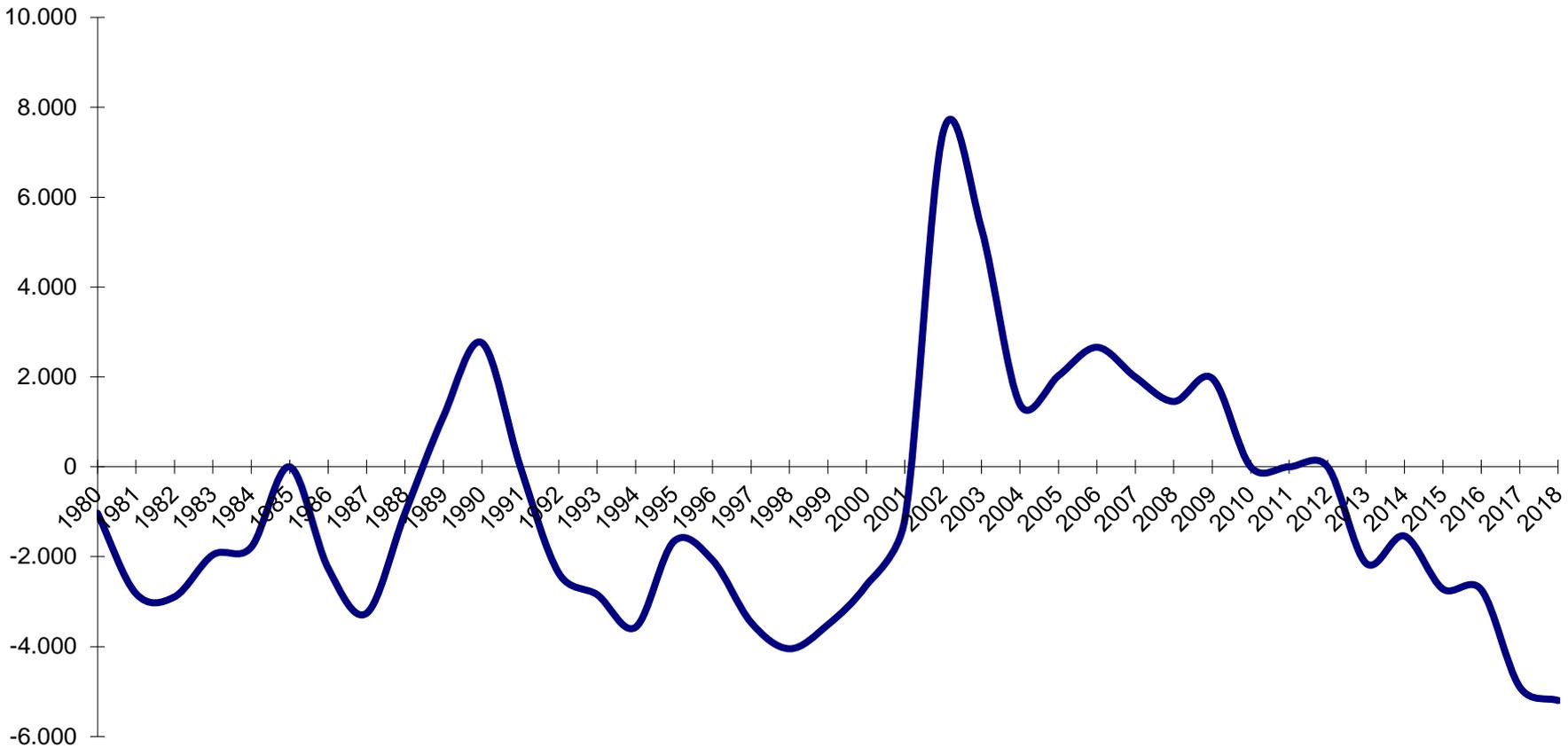
Años	Cantidad de meses bajo acuerdo <sup>1</sup>	Tasa equivalente anual de variación entre puntas		Variación absoluta de la tasa de Desempleo Abierto Puntos porcentuales
		PBI real	Indice de Precios al Consumidor	
1956-58	4	4,7%	23,2%	Sin datos
1959-63	55	0,8%	41,3%	Sin datos
1964-66	3	7,0%	35,7%	-1,1
1967-68	23	3,5%	25,1%	-0,8
1969-75	4	4,0%	54,5%	-1,6
1976-78	29	1,0%	265,0%	-2,4
1979-81	0	1,2%	114,8%	3,3
<i>Larga duración</i> 1982-2001	194	1,6%	398,9%	15,7
2002	0	-10,9%	25,9%	3,0
2003-2004	21	8,9%	8,5%	-5,2
2005-2011	0	7,4%	8,0% <sup>2</sup>	-6,4

# Argentina. Crecimiento, inflación y desempleo con y sin FMI



		Var % PBI	Inflación Anual Promedio Ponderado	Desempleo, variación
Períodos con 4 meses por año o menos bajo acuerdos (excluye 2002)		5,1%	41,7% <sup>2</sup>	-1,2
Períodos con 4 meses por año o menos bajo acuerdos (excluye 1979-81 y 2002)		5,7%	30,7%	-3.0
Períodos de 21 a 55 meses bajo acuerdos		1,9%	84,1%	***
Larga duración. Excluye valores extremos de las hiperinflaciones de 1989 y 1990				
1982-1988	47	0,4%	286,3%	2,0
1991-2001	130	3,3%	3,5%	13
Excluye valores extremos de las hiperinflaciones de 1989, 1990 y la depresión de 2002				

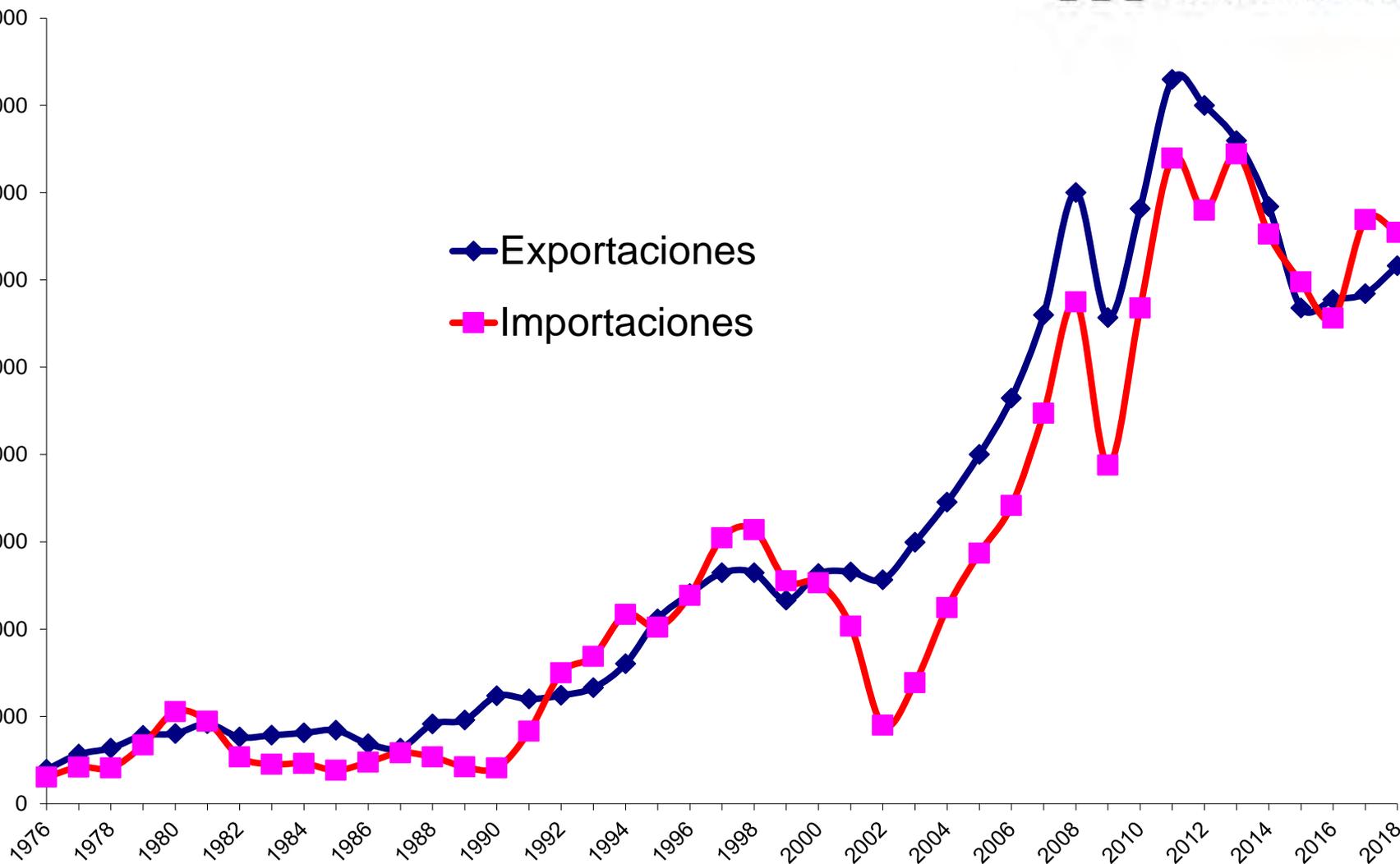
# Argentina. Saldo de la Cuenta Corriente del balance de pagos internacionales como porcentaje del PBI, 1980-2018



# Ejemplo de Balance de Pagos con déficit en Cta. Cte. y Cta. Capital y Financiera y caída de las reservas

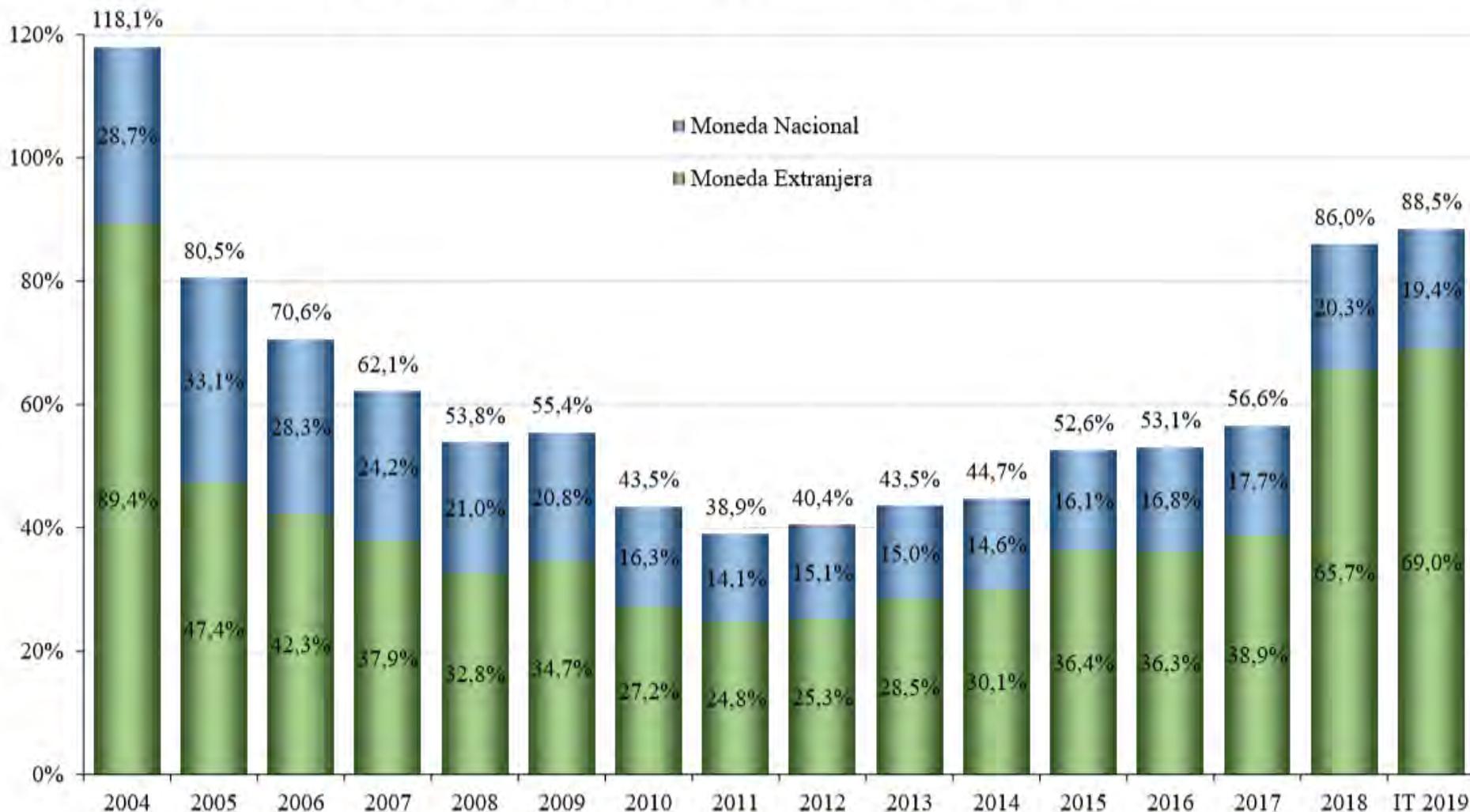
	<i>Entradas</i>	<i>Salidas</i>	<i>Saldo</i>
<b>Cuenta Corriente (a)</b>	<b>13</b>	<b>-23</b>	<b>-10</b>
- Comercio de bienes y servicios	10	-20	-10
- Pagos de intereses, utilidades, etc.	2	-2	0
- Remesas	1	-1	0
<b>Cuenta Capital y Financiera (b)</b>	<b>6</b>	<b>-7</b>	<b>-1</b>
- Préstamos	5	-5	0
- Inversiones (productivas y especulativas)	1	-2	-1
<b>Variación de Reservas Internacionales (a) + (b)</b>			<b>-11</b>

# Argentina. Comercio Exterior 1976-2018. Millones de dólares



# Deuda Bruta de la Administración Central por Moneda en % del PIB<sup>(1)</sup>

270



Fuente: Secretaría de Finanzas, Ministerio de Hacienda

# Argentina. Intereses pagados por Deuda Externa, % del PBI, 1961-2019



## *Principales temas*

### Ajuste fiscal:

- bajar gasto primario (antes de intereses): salarios, pensiones, subsidios, transferencias a provincias, infraestructura.

### Reformas del lado de la oferta:

- bajar costo laboral, impuestos, + transparencia, etc.

*Desequilibrio externo*

# Argentina. Sector Externo

## Comercio exterior, 2016-2024

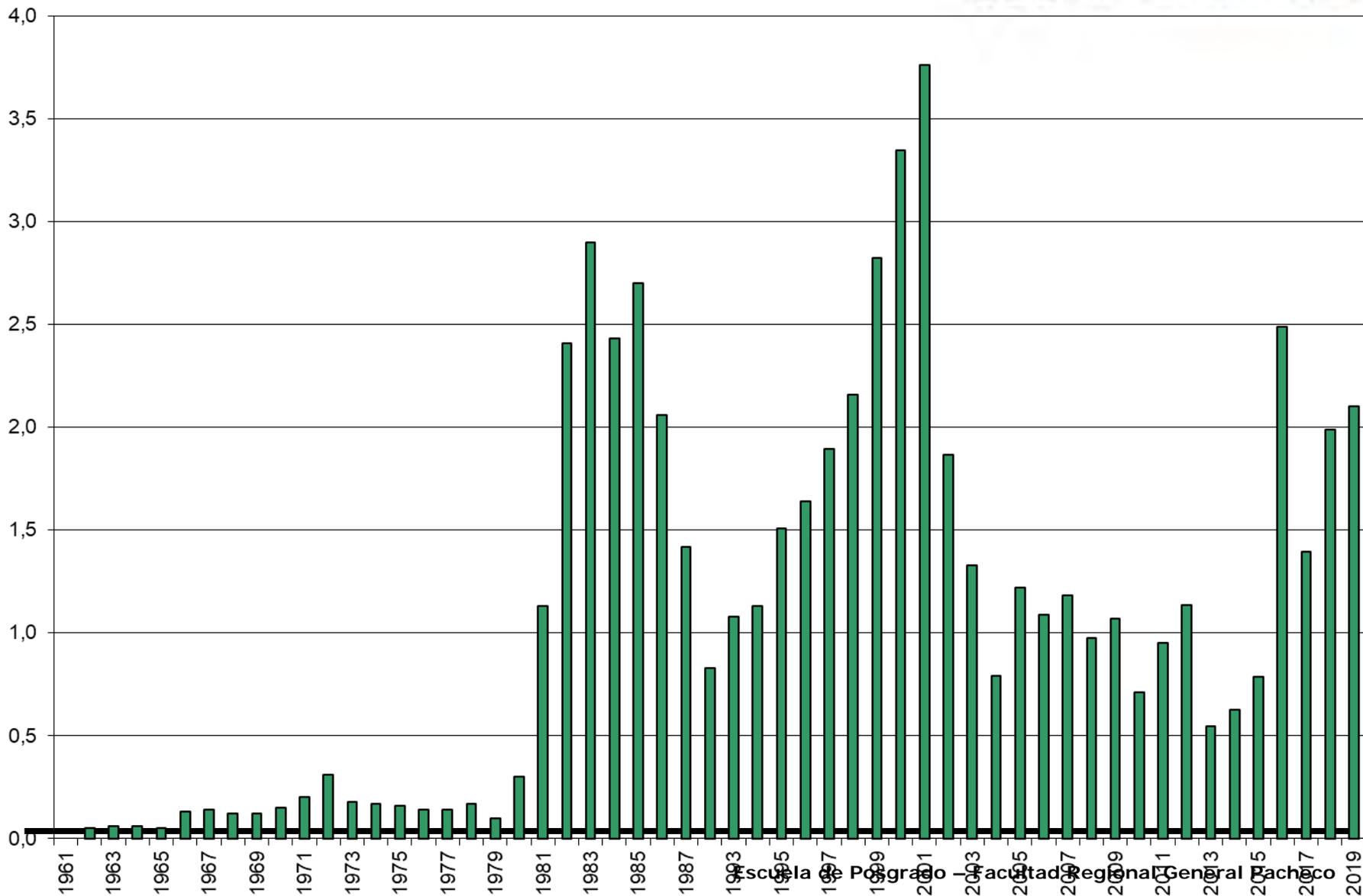


### Proyecciones del FMI

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
<b>External sector</b>									
Exports f.o.b. (goods, billions of U.S. dollars)	58.0	58.6	61.6	66.6	69.4	72.9	75.8	81.1	85.9
Imports f.o.b. (goods, billions of U.S. dollars)	53.5	64.1	62.5	53.1	54.1	58.6	64.9	71.5	79.0
Trade balance (goods, billions of U.S. dollars)	4.4	-5.5	-0.9	13.5	15.2	14.2	10.9	9.6	6.9
Trade balance (goods)	0.8	-0.9	-0.2	2.9	3.0	2.5	1.8	1.5	1.0
Terms of trade (percent change)	6.0	-2.8	1.2	0.1	0.3	-0.4	-0.5	-0.5	-0.6
Total external debt % PIB	34.1	37.0	52.2	58.7	52.3	49.9	47.1	44.1	44.5

Fuente: FMI, 4ta. Revisión stand by de Argentina, julio 2019.

# Argentina. Intereses pagados por Deuda Externa, % del PBI, 1961-2019



# Argentina. PBI, inflación, desempleo 2016-2024 (proyecciones 2019)



## Proyecciones del FMI

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
PIB, var. %	-2.1	2.7	-2.5	-1.3	1.1	2.6	3.4	3.6	3.6
Brecha de producto	-1.6	-0.2	-4.2	-7.1	-7.8	-7.3	-6.0	-4.5	-3.0
Inflación	...	24.8	47.6	40.2	32.1	19.2	10.1	7.0	5.0
Desempleo	8.5	8.4	9.2	10.0	10.1	10.0	9.8	9.4	9.1

Fuente: FMI, 4ta. Revisión stand by de Argentina, julio 2019.

# Argentina. PIB, inflación y desempleo, 2016-2024



Proyecciones del FMI

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
PIB, var. %	-2.1	2.7	-2.5	-1.3	1.1	2.6	3.4	3.6	3.6
Brecha de producto	-1.6	-0.2	-4.2	-7.1	-7.8	-7.3	-6.0	-4.5	-3.0
Inflación	...	24.8	47.6	40.2	32.1	19.2	10.1	7.0	5.0
Desempleo	8.5	8.4	9.2	10.0	10.1	10.0	9.8	9.4	9.1

Fuente: FMI, 4ta. Revisión stand by de Argentina, julio 2019.

- Disputa hegemónica EE.UU. – China
- Débil crecimiento económico y del comercio tras Gran Recesión
- Tendencias proteccionistas y antiglobalistas (Brexit, nacionalismos excluyentes, aporofobia)
- Cambio tecnológico (matriz energética, industria 4.0)
- Tensiones geopolíticas
- Cambio climático

y promover políticas de mediano y largo plazo

- Fortalecer estructura productiva
  - Diversificar patrón de comercio exterior
  - I&D y cambio tecnológico
  - Internacionalizar firmas argentinas
  - Insertarse en segmentos de alto valor agregado en cadenas globales de producción
  - Trabajo decente
-

¡Muchas gracias!

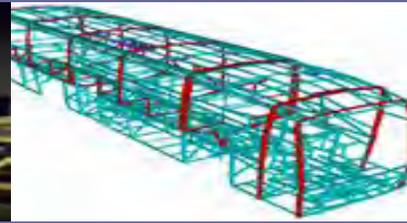


# Conferencias



# INSIA

Instituto Universitario de Investigación del Automóvil



**2º CONGRESO sobre MEDIOS DE TRANSPORTE y sus  
TECNOLOGÍAS ASOCIADAS**

## ***MOVILIDAD DEL FUTURO. PAPEL DEL AUTOMÓVIL***

**FRGP-UTN  
ARGENTINA  
12/9/2019**

**D. Francisco Aparicio Izquierdo**

- Catedrático Emérito de la UPM
- Presidente del INSIA, Presidente de ASEPA. Presidente de FEIBIM/FEIBEM

viernes, 27 de septiembre de 2019

# AUTOMÓVIL, MOVILIDAD HUMANA Y DESARROLLO

- **BREVE MIRADA RETROSPECTIVA A LA EVOLUCIÓN DE LA MOVILIDAD HUMANA**
- **EL SIGLO XIX CAMBIA EL PANORAMA DE LA MOVILIDAD**
- **LA SOCIALIZACIÓN DE LA MOVILIDAD, FRUTO DE NUESTRO TIEMPO**
- **AUTOMÓVIL Y MOVILIDAD**
- **NUEVOS PARADIGMAS DE LA MOVILIDAD HUMANA**
- **EL FUTURO: CERTEZAS E INCERTIDUMBRES**
- **CONCLUSIONES**

# MOVILIDAD HUMANA

**“UN DESEO ATÁVICO QUE NOS IMPULSA A QUERER DOMINAR EL ESPACIO Y EL TIEMPO, ... NO UN MODO SUSCEPTIBLE DE MODIFICACIÓN, SINO UNA MANIFESTACIÓN DE NUESTRO SER MÁS PROFUNDO”**

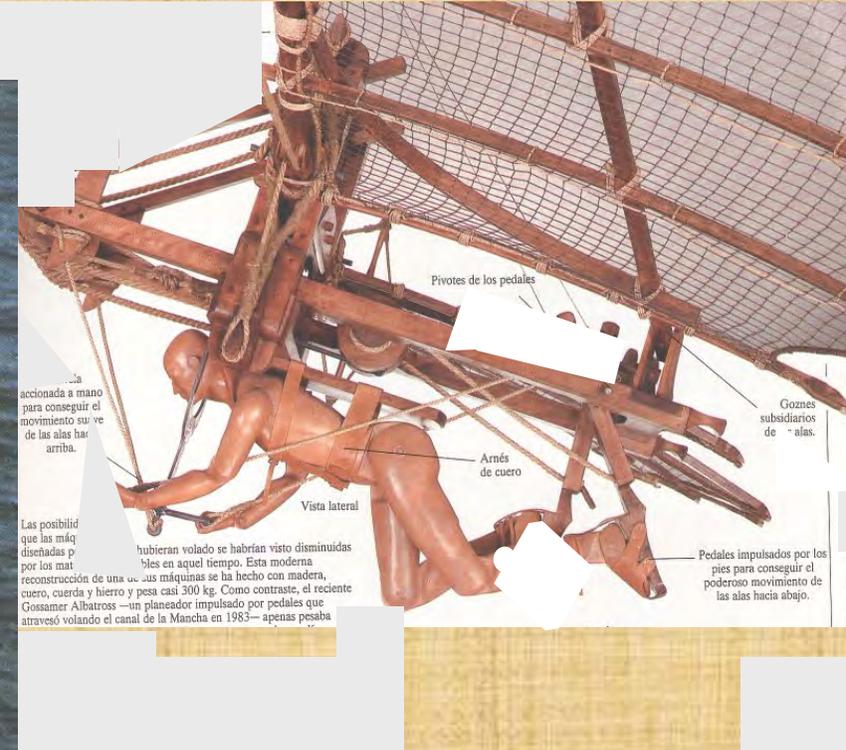


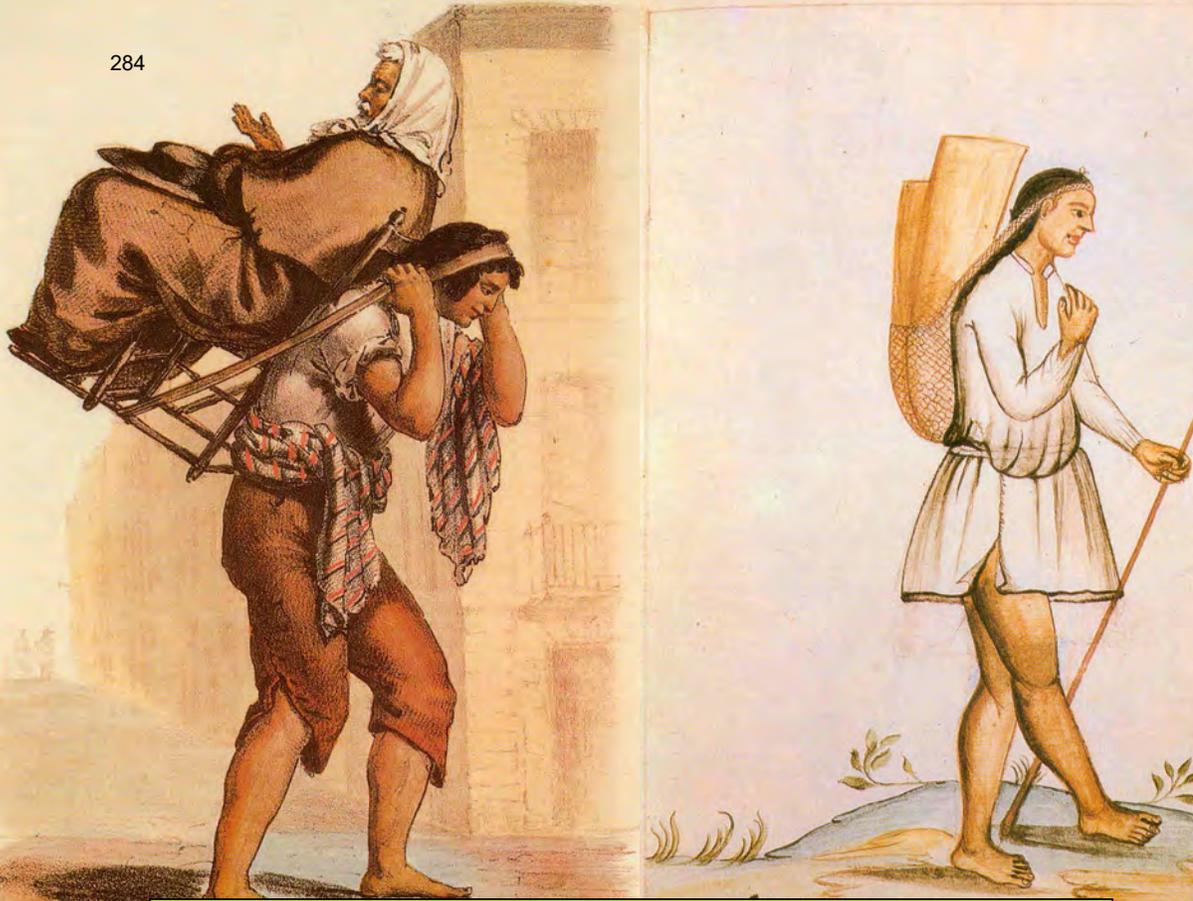
**INSIA**

**CENTRO SUPERIOR DE INVESTIGACIÓN DEL AUTOMÓVIL DE LA COMUNIDAD DE MADRID**



A lo largo de la historia, los seres humanos han dedicado notables esfuerzos a superar sus escasas capacidades para moverse en los diferentes medios y a hacerlo a velocidades cada vez mayores





“TAMEMES”, “APIRIS” Y “CHAQUIS”.

## Estampas de los siglos XV y XVI en América



- NO USO DE LA RUEDA
- ESCASOS ANIMALES DE CARGA



# MOVILIDAD HUMANA

**“ERAN POCAS Y GRAVES LAS CAUSAS PARA EFECTUAR UN VIAJE AL ESTAR ÉSTE CATALOGADO COMO UNA NECESIDAD, NUNCA COMO PLACER Y SIEMPRE COMO UNA DESGRACIA”**

**“AYER, HOY Y MAÑANA”  
Antonio Flores (1816-1865)**



# MOVILIDAD HUMANA

“HACÍA POCOS AÑOS QUE SOLO SE ACOMETÍA UN VIAJE POR MOTIVOS MUY PODEROSOS Y NO SE CONCEBÍA CÓMO EL HOMBRE PODÍA APARTARSE DE UN LUGAR, EN UN SOLO DÍA, MÁS DE SEIS O SIETE LEGUAS”

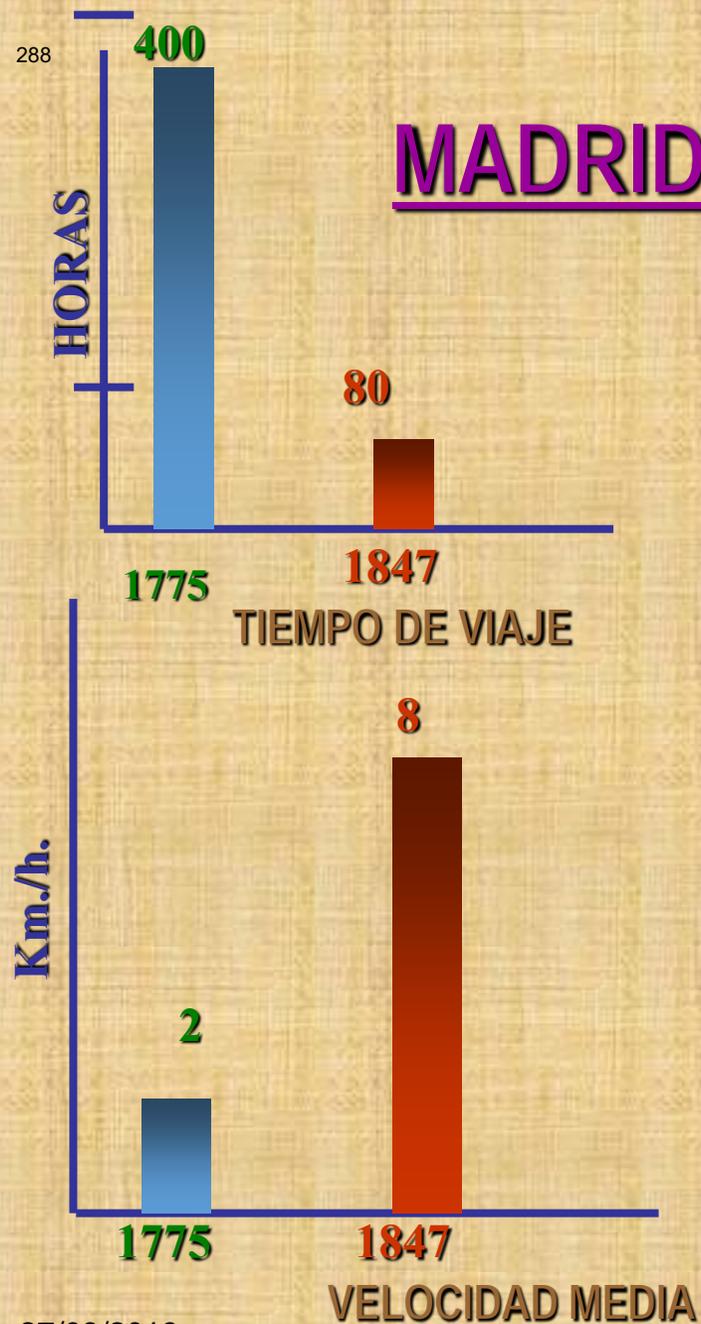
“LOS TIEMPOS HAN CAMBIADO EXTRAORDINÁRIAMENTE”

“VIAJAR POR EL INTERIOR ES PURA BAGATELA”

“LA DILIGENCIA” Mariano José de Larra (1835)



# MADRID-BARCELONA



# AUTOMÓVIL, MOVILIDAD HUMANA Y DESARROLLO

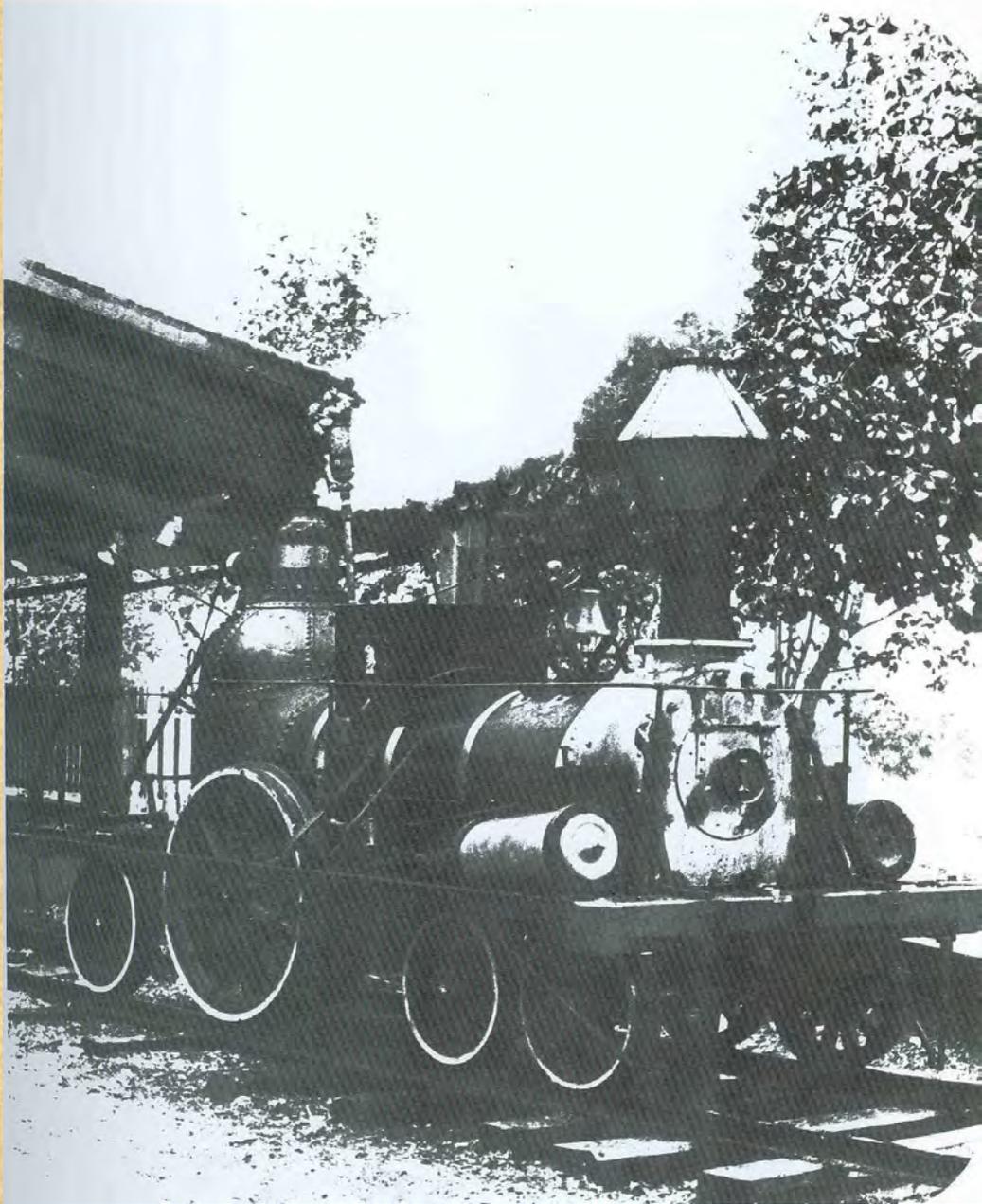
- BREVE MIRADA RETROSPECTIVA A LA EVOLUCIÓN DE LA MOVILIDAD HUMANA
- **EL SIGLO XIX CAMBIA EL PANORAMA DE LA MOVILIDAD**
- LA SOCIALIZACIÓN DE LA MOVILIDAD, FRUTO DE NUESTRO TIEMPO
- AUTOMÓVIL Y MOVILIDAD
- NUEVOS PARADIGMAS DE LA MOVILIDAD HUMANA
- EL FUTURO: CERTEZAS E INCERTIDUMBRES
- CONCLUSIONES

# "ROCKET"

(LOCOMOTORA MÁS RÁPIDA DEL MUNDO EN 1829)



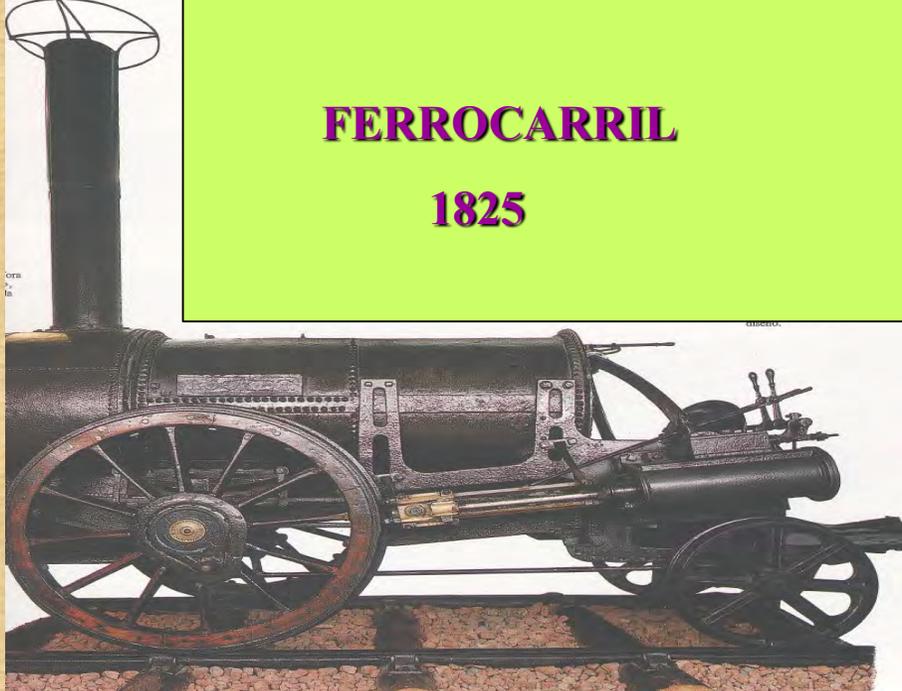
Robert  
STEPHENSON



1837

# FERROCARRIL

1825

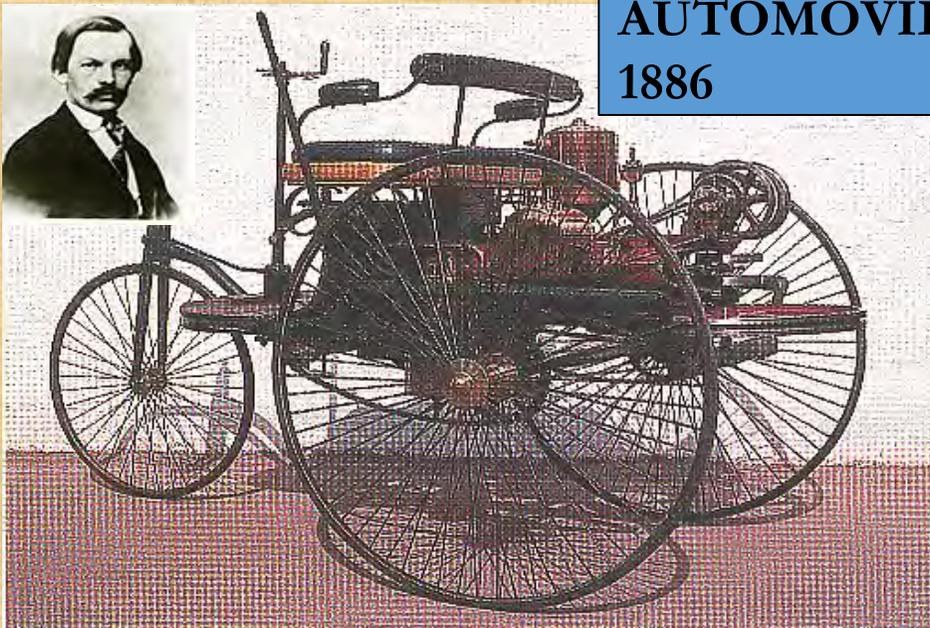


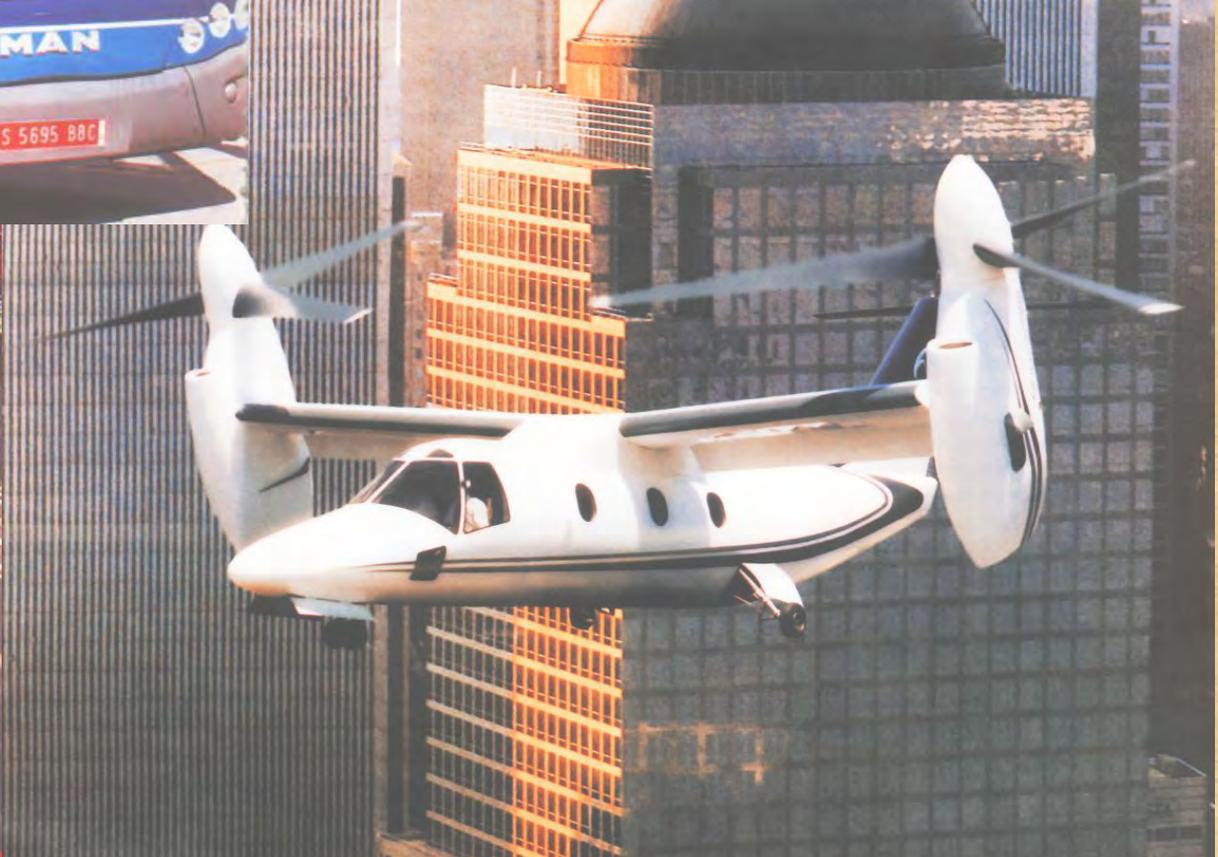
FLYER  
HERMANOS WRIGHT  
KITTY HAWK. 1903



# AUTOMÓVIL

1886





# AUTOMÓVIL, MOVILIDAD HUMANA Y DESARROLLO

- BREVE MIRADA RETROSPECTIVA A LA EVOLUCIÓN DE LA MOVILIDAD HUMANA
- EL SIGLO XIX CAMBIA EL PANORAMA DE LA MOVILIDAD
- **LA SOCIALIZACIÓN DE LA MOVILIDAD, FRUTO DE NUESTRO TIEMPO**
- AUTOMÓVIL Y MOVILIDAD
- NUEVOS PARADIGMAS DE LA MOVILIDAD HUMANA
- EL FUTURO: CERTEZAS E INCERTIDUMBRES
- CONCLUSIONES

# 295 MOVILIDAD HUMANA

*La socialización de la movilidad, es fruto de nuestro tiempo y lo es, sin lugar a duda, por la generalización del uso de los automóviles y por el incremento de la riqueza, a la que la movilidad ha contribuido de forma notable*

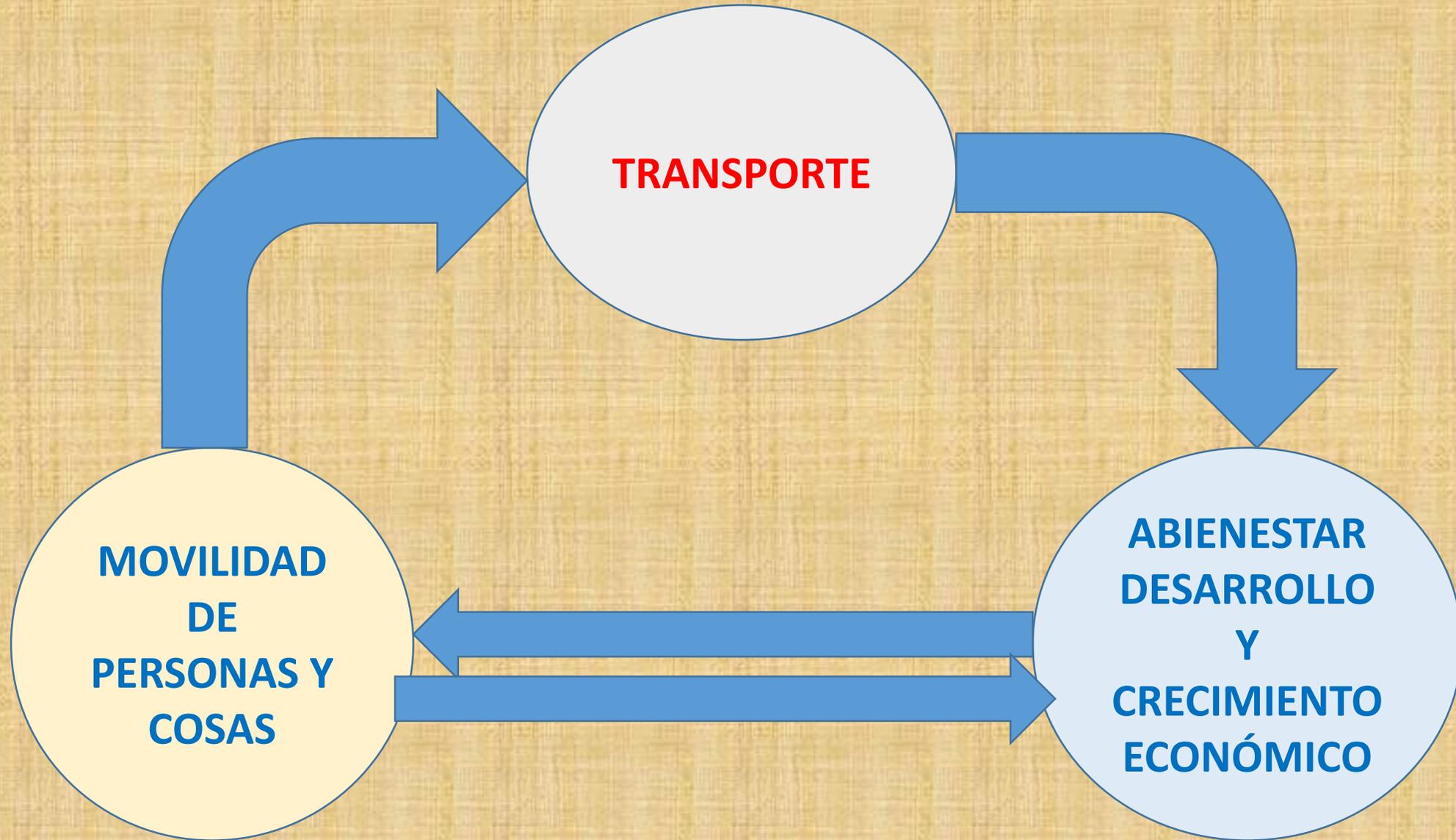


INSIA

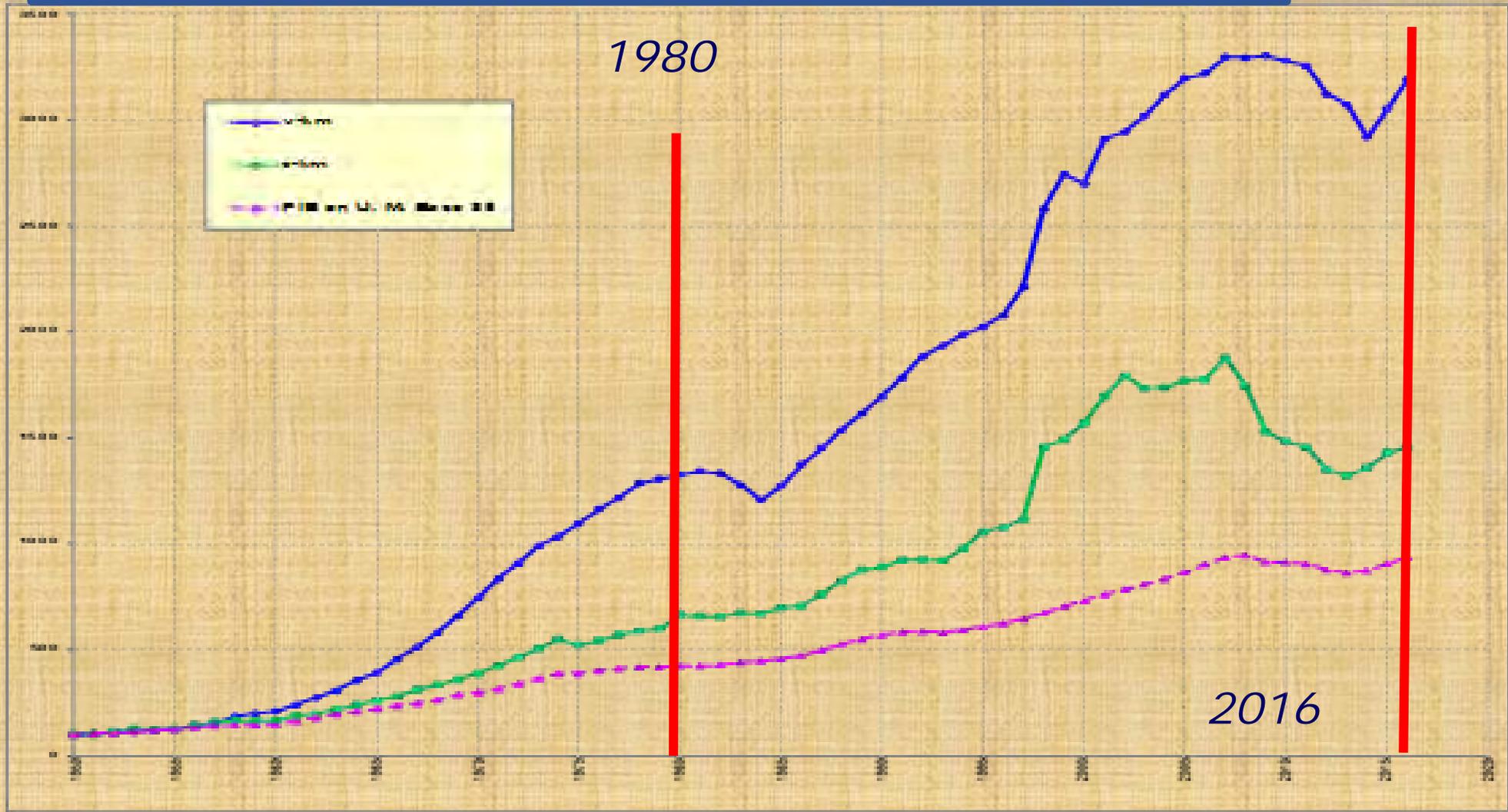
CENTRO SUPERIOR DE INVESTIGACIÓN DEL AUTOMÓVIL DE LA COMUNIDAD DE MADRID

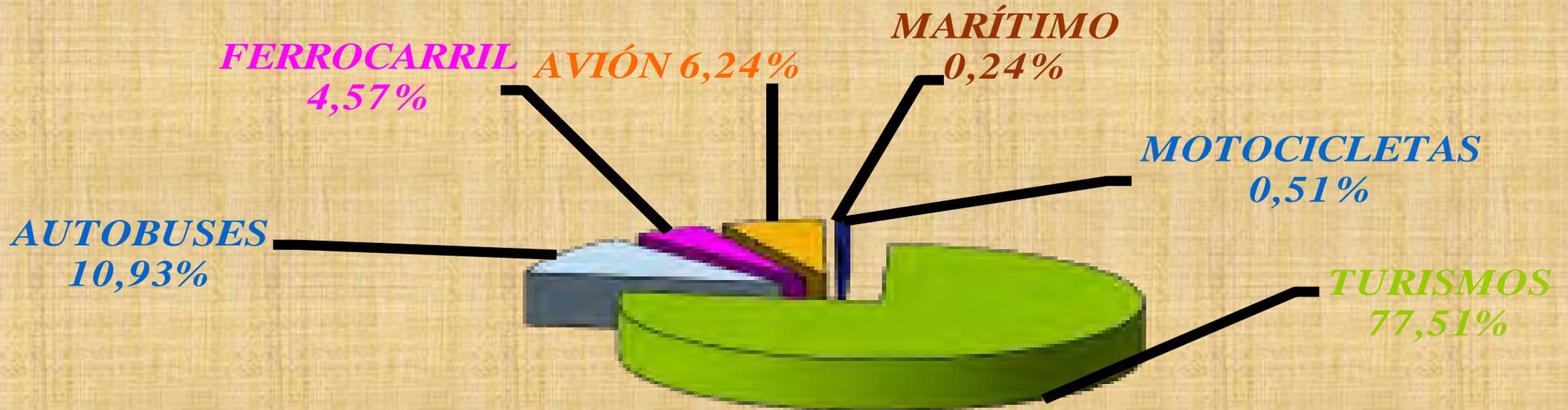


# MOVILIDAD, CRECIMIENTO Y BIENESTAR SOCIAL



# MOVILIDAD: CAUSA Y EFECTO DE DESARROLLO





1950

13.732 · 10<sup>6</sup> viajeros-km

x 30,53

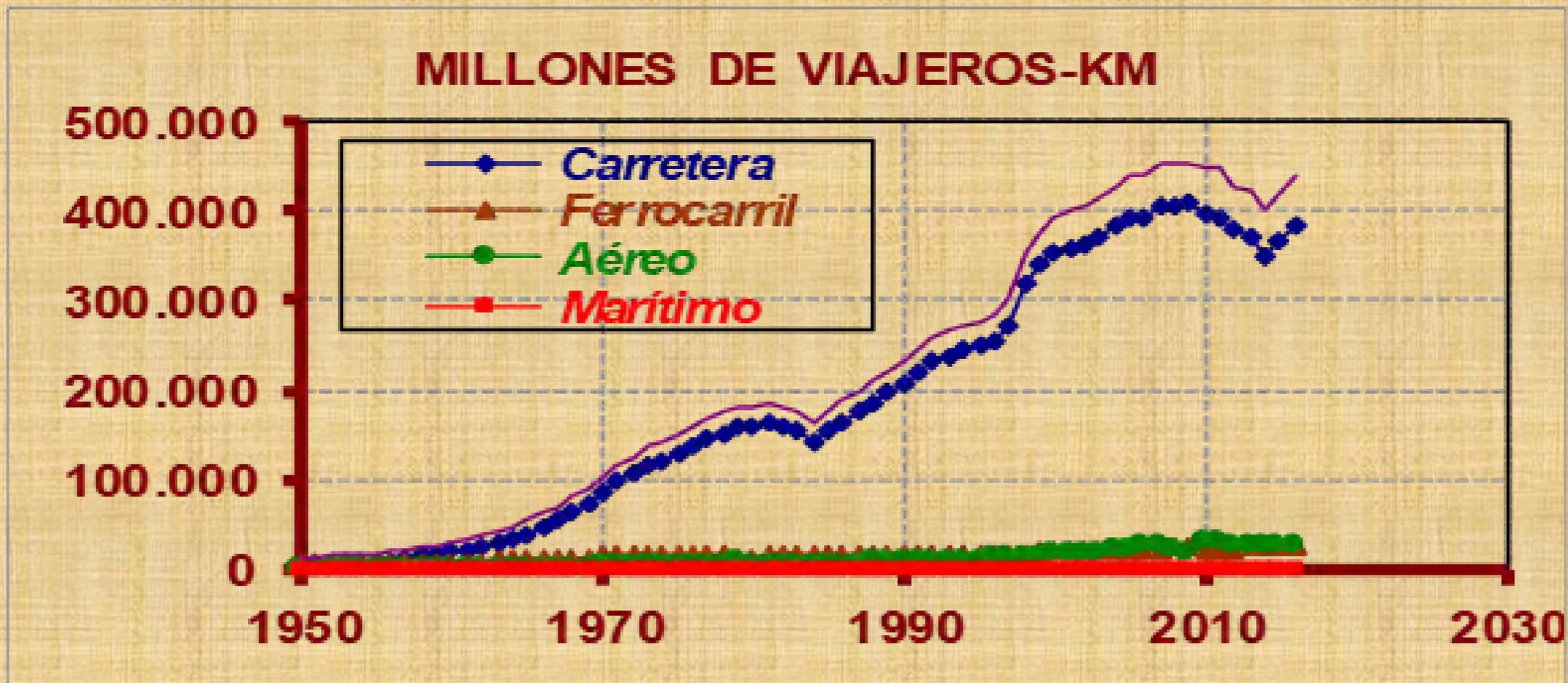


2015

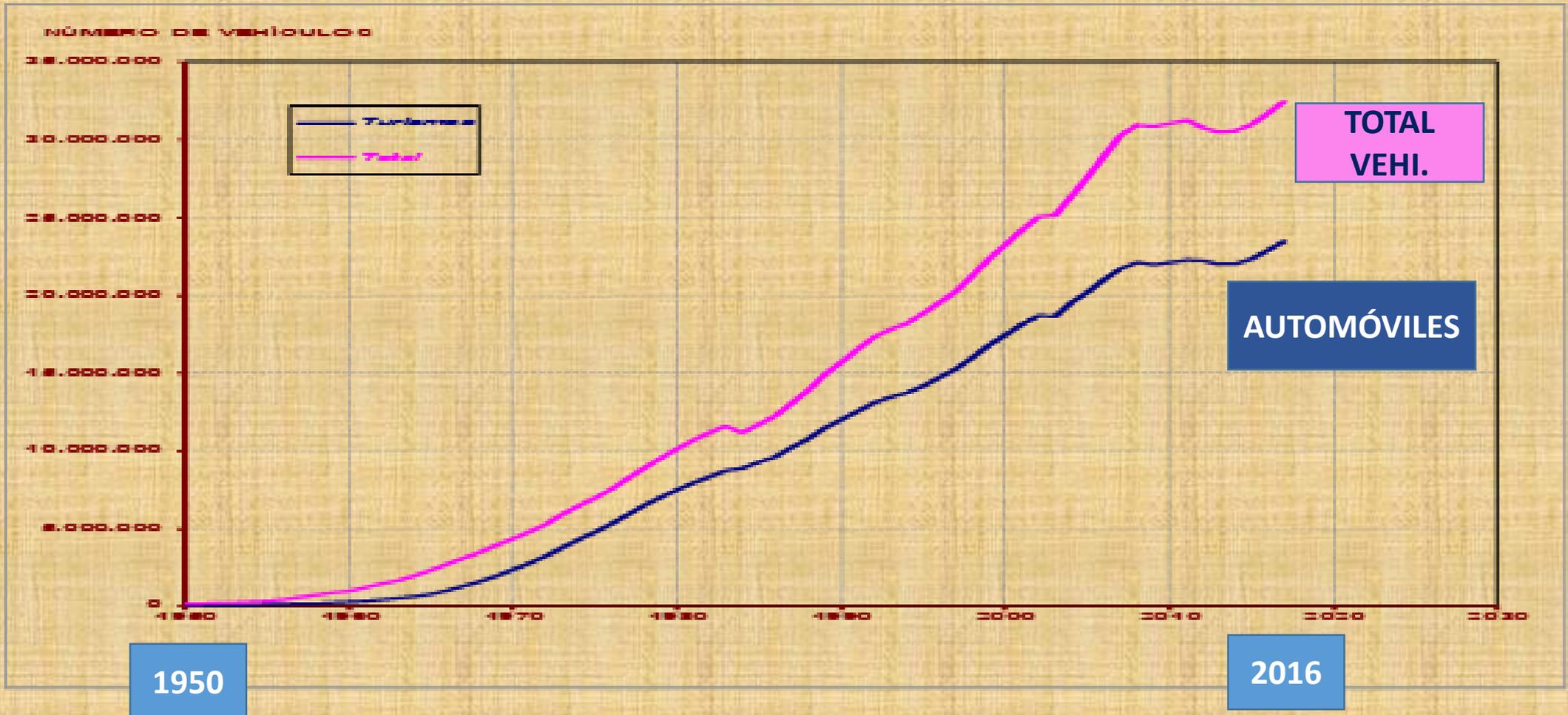
419.196 · 10<sup>6</sup> viajeros-km

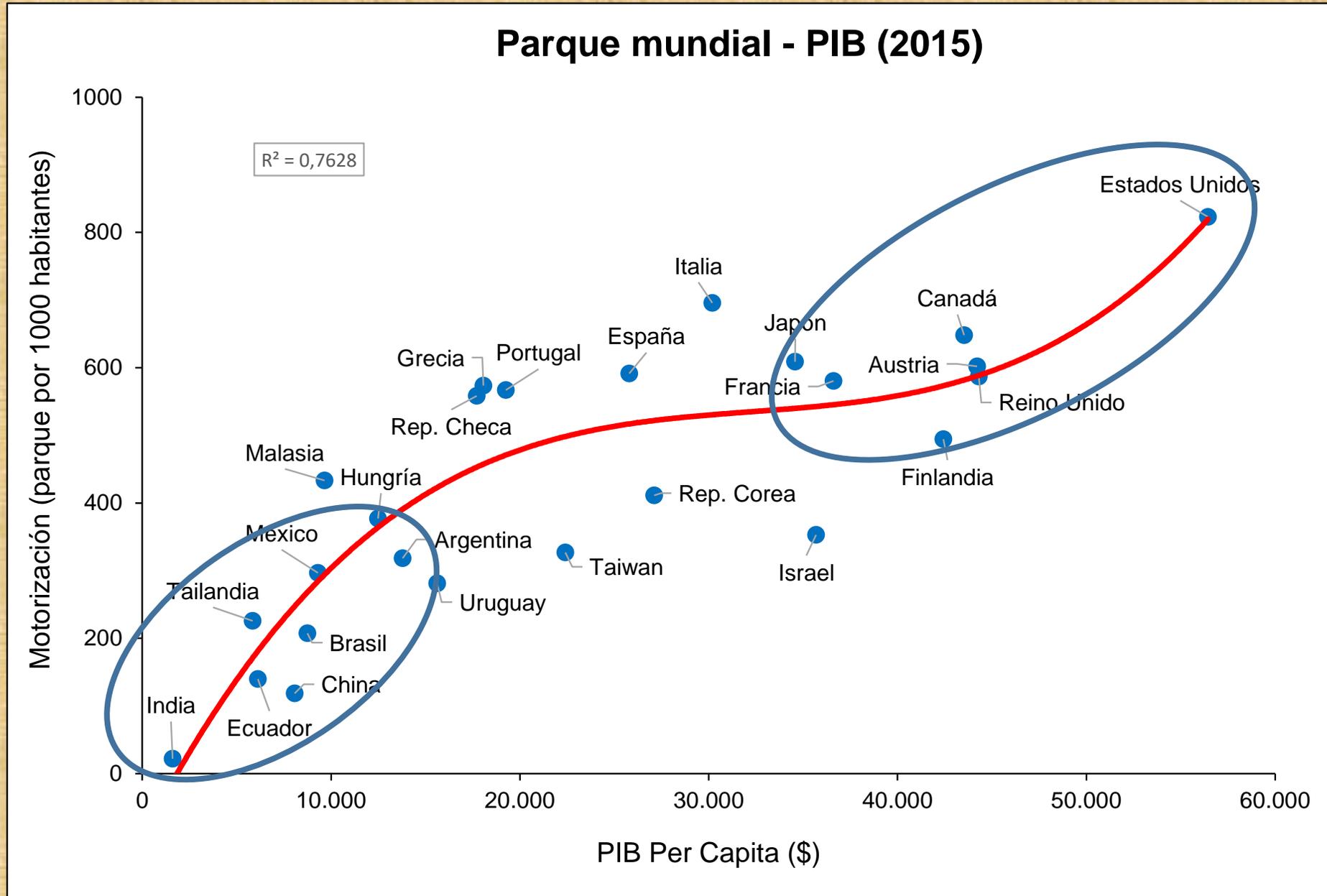
**EL 88.5% DE LA NUEVA MOVILIDAD SE REALIZA EN VEHÍCULOS DE CARRETERA**

**LA CARRETERA (automóviles) APORTA MÁS DEL 90% DE LA MOVILIDAD**



**EL PARQUE DE VEHÍCULOS CRECE AL RITMO DEL  
DESARROLLO ECONÓMICO**





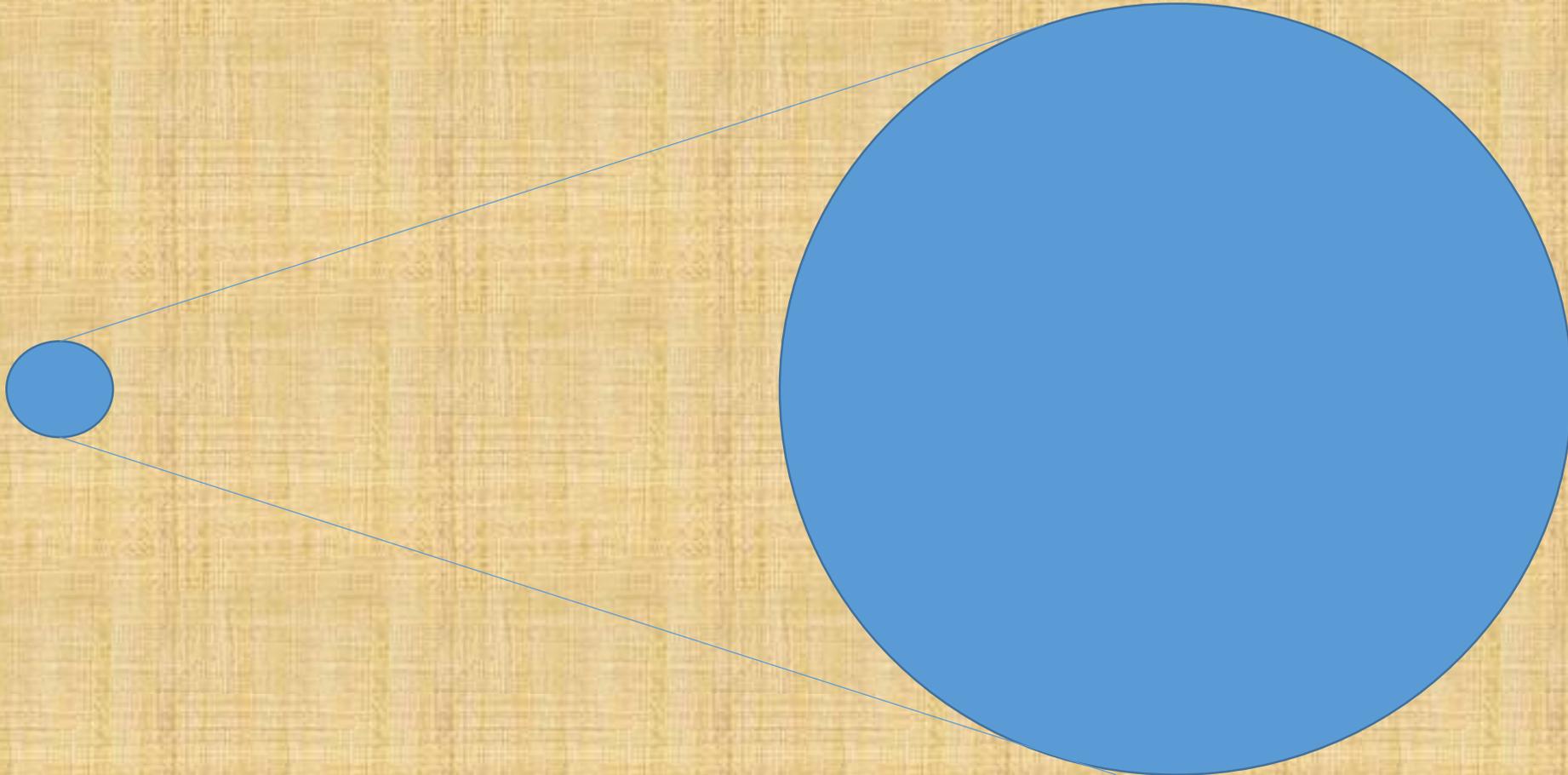
# AUTOMÓVIL, MOVILIDAD HUMANA Y DESARROLLO

- BREVE MIRADA RETROSPECTIVA A LA EVOLUCIÓN DE LA MOVILIDAD HUMANA
- EL SIGLO XIX CAMBIA EL PANORAMA DE LA MOVILIDAD
- LA SOCIALIZACIÓN DE LA MOVILIDAD, FRUTO DE NUESTRO TIEMPO
- **AUTOMÓVIL Y MOVILIDAD**
- NUEVOS PARADIGMAS DE LA MOVILIDAD HUMANA
- EL FUTURO: CERTEZAS E INCERTIDUMBRES
- CONCLUSIONES

Para Dennis y Urry (2009), “el sistema automóvil es un modo de vida, una cultura entera. Ha redefinido el movimiento, el placer y la emoción en el mundo contemporáneo, transformando el panorama para todos los demás sistemas de movilidad que tienen que encontrar su lugar en un paisaje predominantemente esculpido por el sistema coche”.



# DE LA CIUDAD PEATONAL A LA MEGACIUDAD



## CIUDAD PEATONAL

$V_m=5$  km/h

$T=30$  m

$S= 20$  km<sup>2</sup>

**SALTA:** 60 Km<sup>2</sup>

**BsAS:** 203 Km<sup>2</sup>

**MADRID:** 604 Km<sup>2</sup>

**MÉJICO DF:** 1484 Km<sup>2</sup>

## CIUDAD Y AUTOMÓVIL

$V_m=35$  km/h

$T=30$  m

$S= 1000$  km<sup>2</sup>

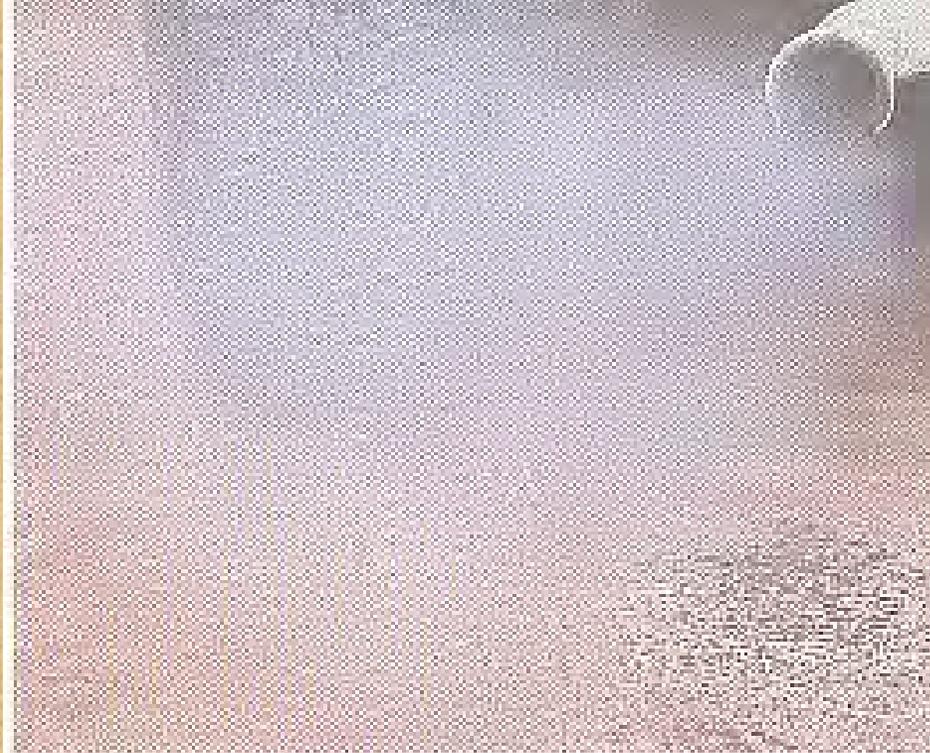
# VEHÍCULOS AUTOMÓVILES: SOCIALIZACIÓN DE LA MOVILIDAD Y DESARROLLO



# AUTOMÓVIL Y MOVILIDAD HUMANA

*Jesse H. Ausubel (2014) señala “Cuando la gente en los próximos siglos reflexione sobre el siglo XX, el coche puede simbolizar bien nuestra civilización”. Es difícil de imaginar cómo sería hoy la vida de los seres humanos y el desarrollo de la Sociedad en un mundo sin automóviles.*





27/09/2019

*Aparicio, F.*

## MEDITACIÓN DE LA TÉCNICA...Ortega y Gasset, 1939

“la técnica, cuya misión es resolver al hombre problemas se ha convertido de pronto en un nuevo y gigantesco problema”



# AUTOMÓVIL, MOVILIDAD HUMANA Y DESARROLLO

- BREVE MIRADA RETROSPECTIVA A LA EVOLUCIÓN DE LA MOVILIDAD HUMANA
- EL SIGLO XIX CAMBIA EL PANORAMA DE LA MOVILIDAD
- LA SOCIALIZACIÓN DE LA MOVILIDAD, FRUTO DE NUESTRO TIEMPO
- AUTOMÓVIL Y MOVILIDAD
- **NUEVOS PARADIGMAS DE LA MOVILIDAD HUMANA**
- EL FUTURO: CERTEZAS E INCERTIDUMBRES

# De las modas a las Megatendencias

**Modas**  
= 1-2 años

Tendencias  
moda

**Tendencias mercado**  
= 3-5 años

Tendencias  
consumidor

**Situación económica**  
= 10-12 años

Tendencias industria

**Tecnología**  
= 10-20 años

Megatendencias

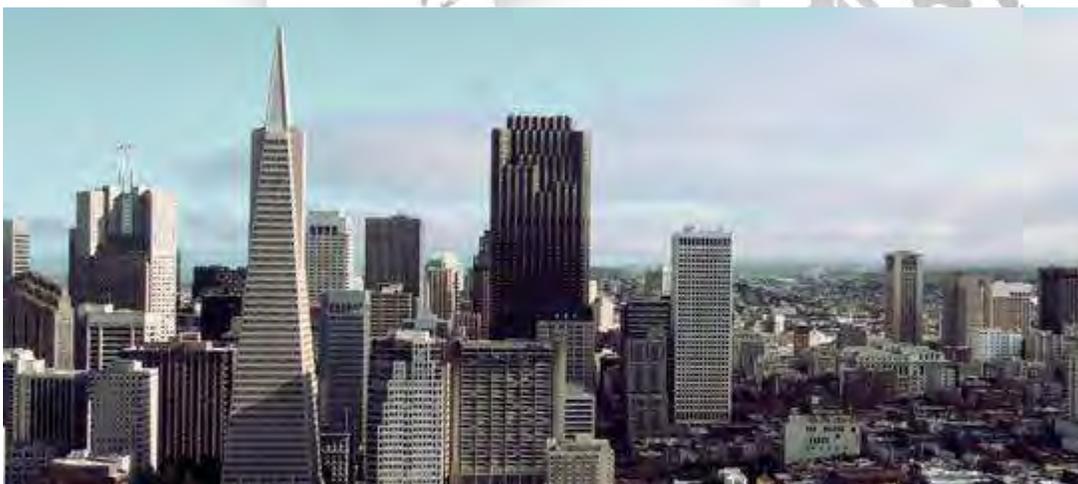
**MEGATENDENCIAS**



# MEGATENDENCIAS QUE INFLUENCIAN EL FUTURO



## DIGITALIZACIÓN



# URBANIZACIÓN



# ENVEJECIMIENTO

# MEGATENDENCIAS QUE INFLUENCIAN EL FUTURO



## NUEVAS FORMAS DE TRABAJO

# MEGATENDENCIAS QUE INFLUENCIAN EL FUTURO



# CDG HACIA EL ESTE

# MEGATENDENCIAS QUE INFLUENCIAN EL FUTURO



**ESCASEZ DE RECURSOS NATURALES**

# MEGATENDENCIAS QUE INFLUENCIAN EL FUTURO



**CAMBIO CLIMÁTICO**

# <sup>318</sup>MOVILIDAD HUMANA ¿CÓMO SERÁ EL FUTURO?

**¿CÓMO EVOLUCIONARÁ LA MOVILIDAD HUMANA EN EL FUTURO IMAGINABLE?**

**¿CÓMO EVOLUCIONARÁN LOS MEDIOS DE TRANSPORTE?**

**¿CÓMO EVOLUCIONARÁ EL AUTOMÓVIL Y SU USO?**

# MOVILIDAD HUMANA ¿CÓMO SERÁ EL FUTURO?

**NO EXISTEN RAZONES PARA PENSAR QUE EN EL FUTURO LOS SERES HUMANOS MODIFIQUEN, EN LO FUNDAMENTAL, SUS COMPORTAMIENTOS RELATIVOS A LA MOVILIDAD**

**PERO EXISTEN RAZONES PARA PENSAR QUE SE MODIFICARAN SUSTANCIALMENTE LOS MEDIOS Y LOS USOS DE LOS MISMOS, COMO HA SUCEDIDO EN EL ÚLTIMO SIGLO**



**INSIA**

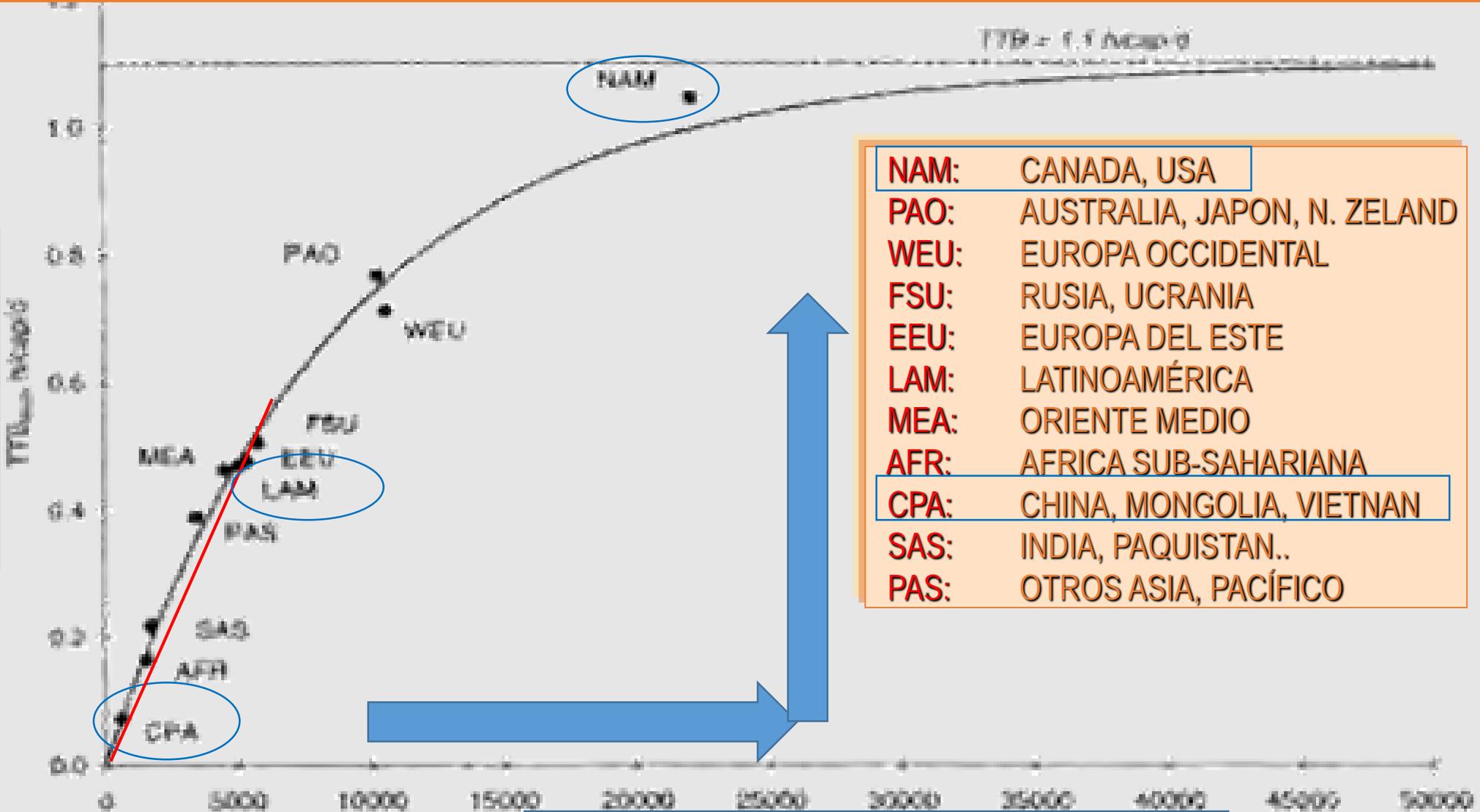
CENTRO SUPERIOR DE INVESTIGACIÓN DEL AUTOMÓVIL DE LA COMUNIDAD DE MADRID



# TIEMPO MEDIO GASTADO EN MODOS DE TRANSPORTE MOTORIZADOS EN FUNCIÓN DEL VOLUMEN DE TRÁFICO PER CÁPITA

320

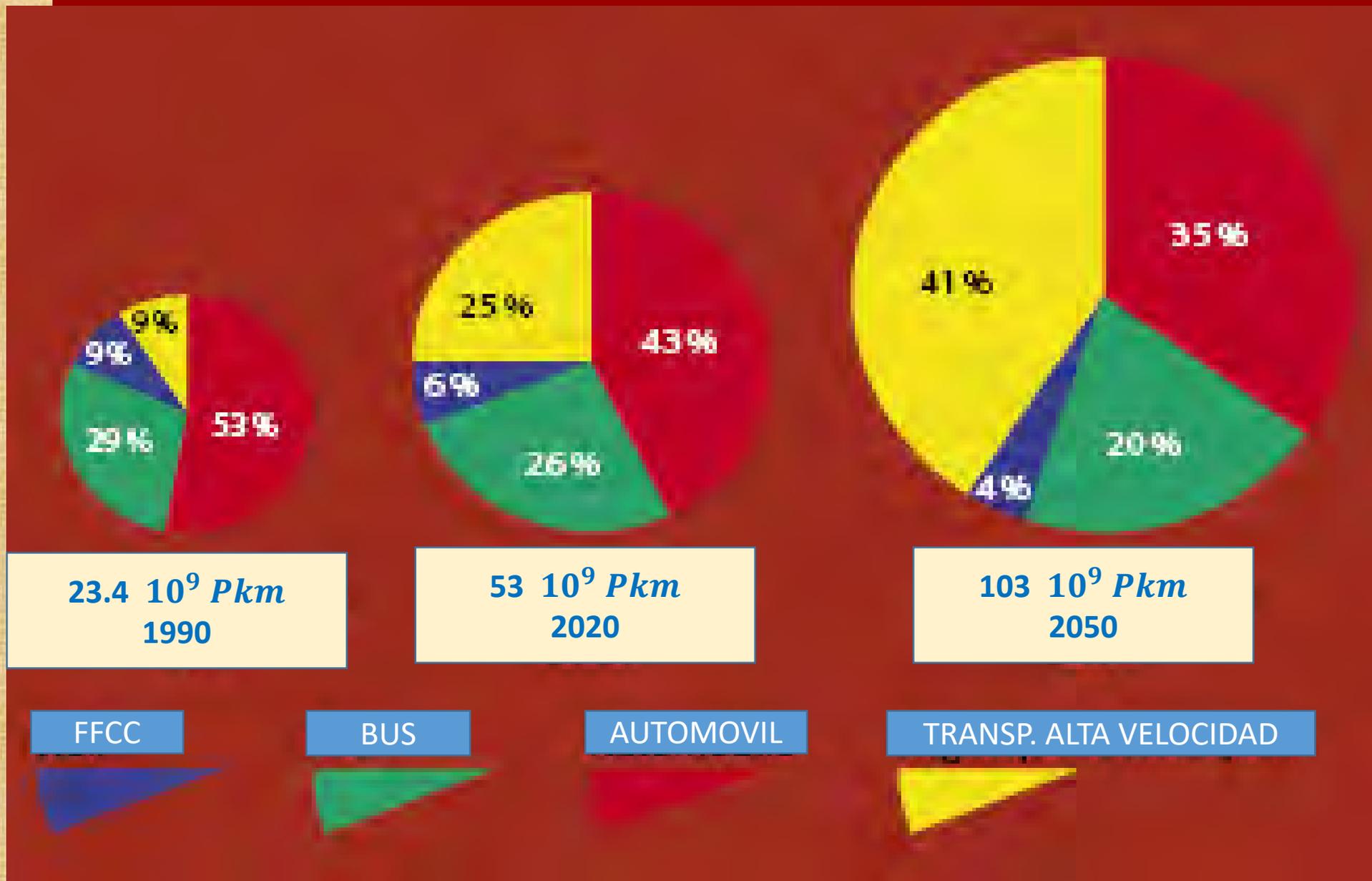
TIEMPO MEDIO DE VIAJE (MOTORIZADO) h/PC/día



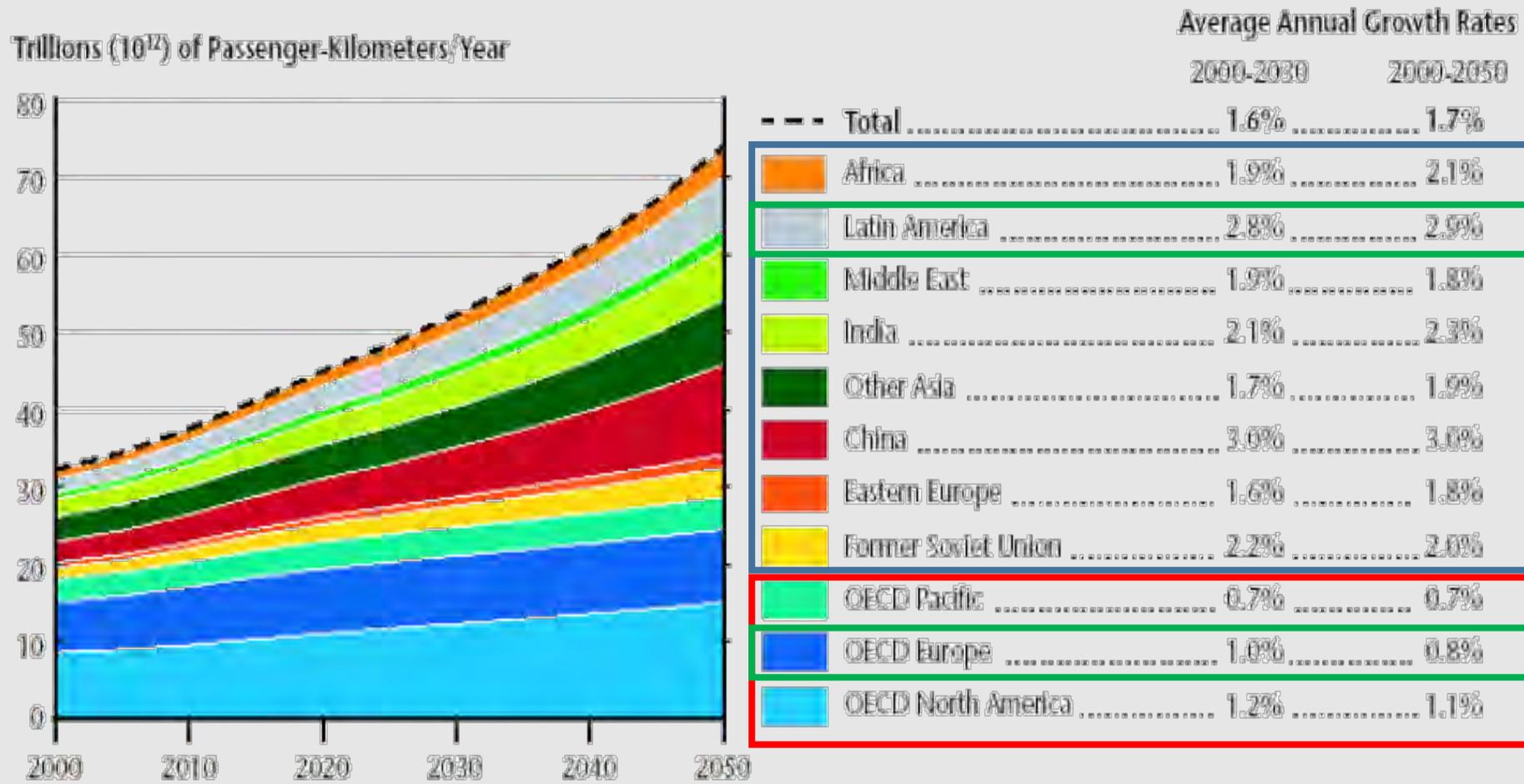
- NAM: CANADA, USA
- PAO: AUSTRALIA, JAPON, N. ZELAND
- WEU: EUROPA OCCIDENTAL
- FSU: RUSIA, UCRANIA
- EEU: EUROPA DEL ESTE
- LAM: LATINOAMÉRICA
- MEA: ORIENTE MEDIO
- AFR: AFRICA SUB-SAHARIANA
- CPA: CHINA, MONGOLIA, VIETNAM
- SAS: INDIA, PAQUISTAN..
- PAS: OTROS ASIA, PACÍFICO

Volumen de tráfico per cápita. kmPC

# DEMANDA GLOBAL DEL TRANSPORTE

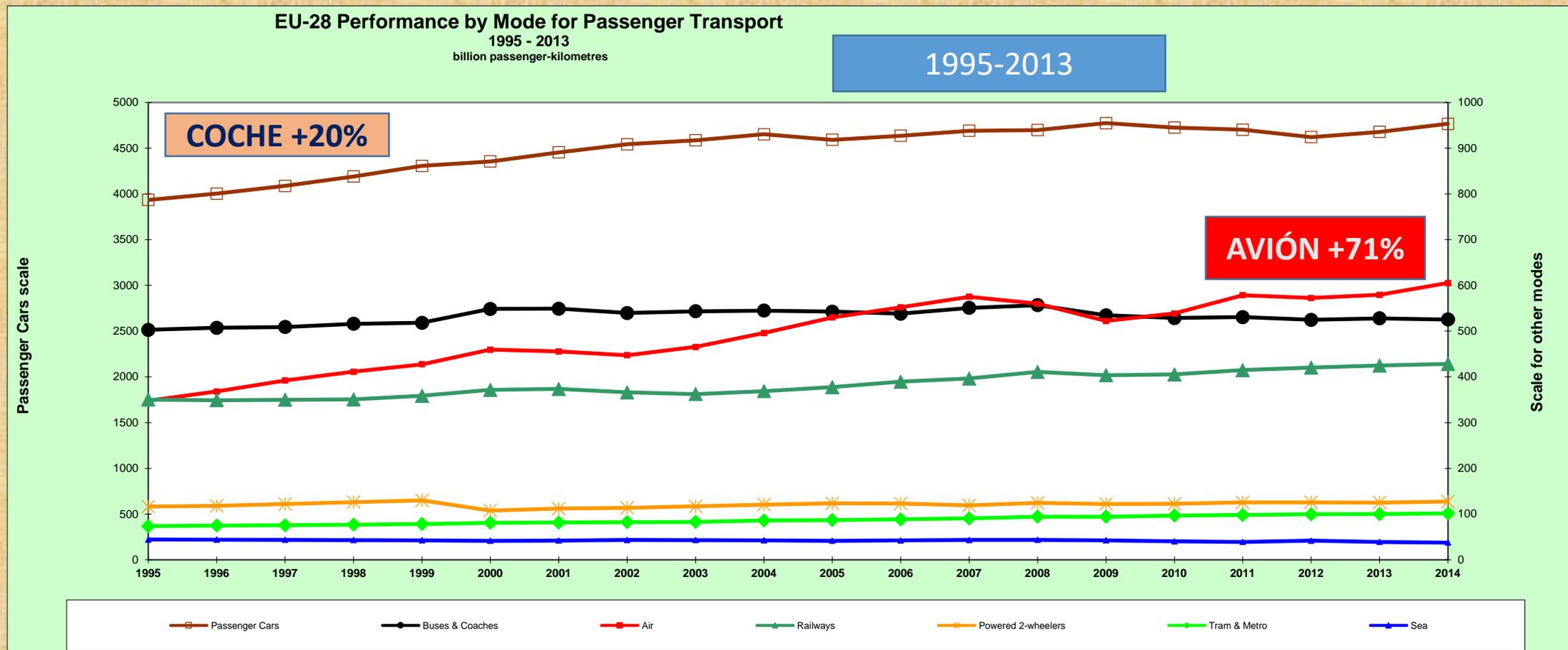


# DEMANDA GLOBAL DEL TRANSPORTE

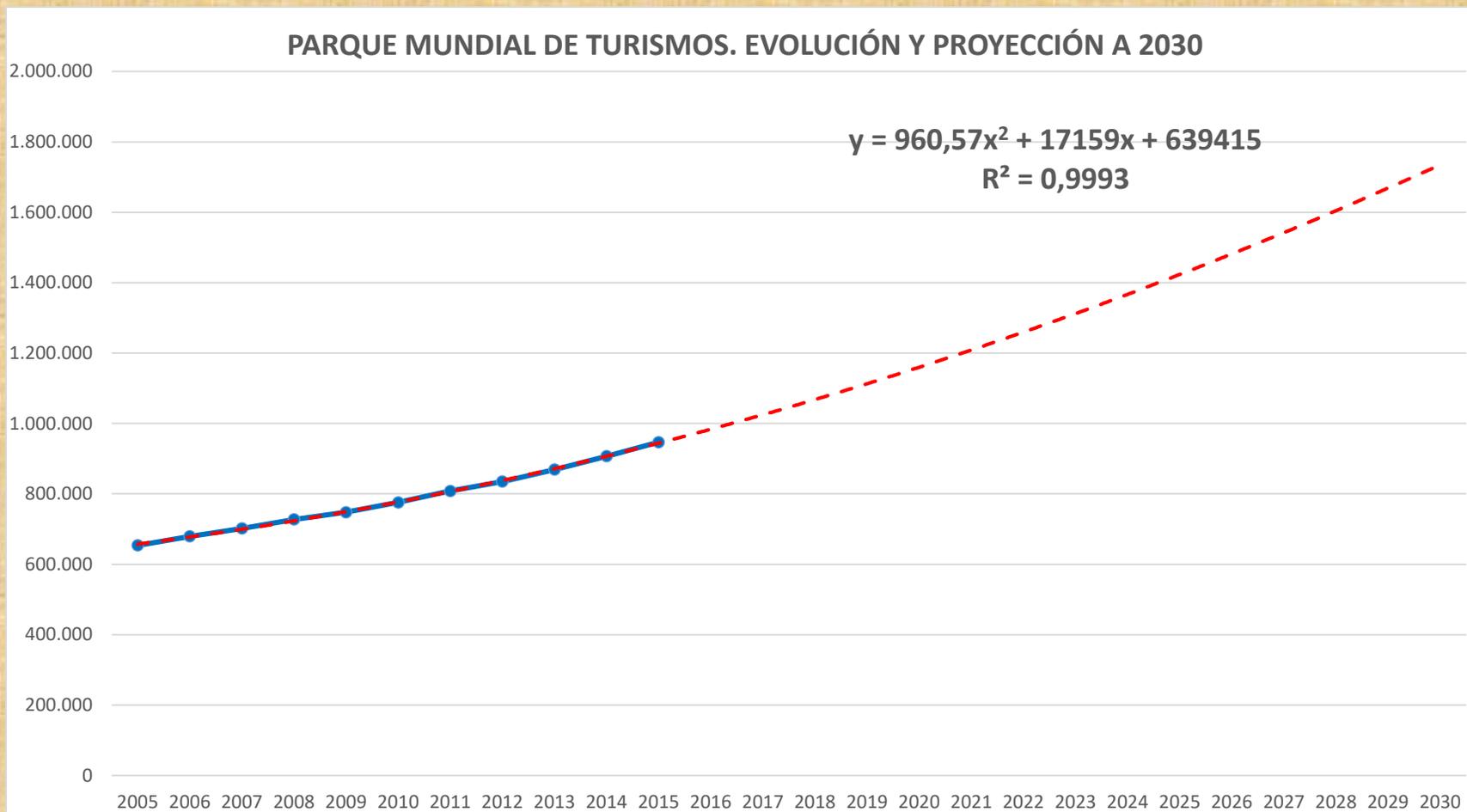


Fuente: WBDSC

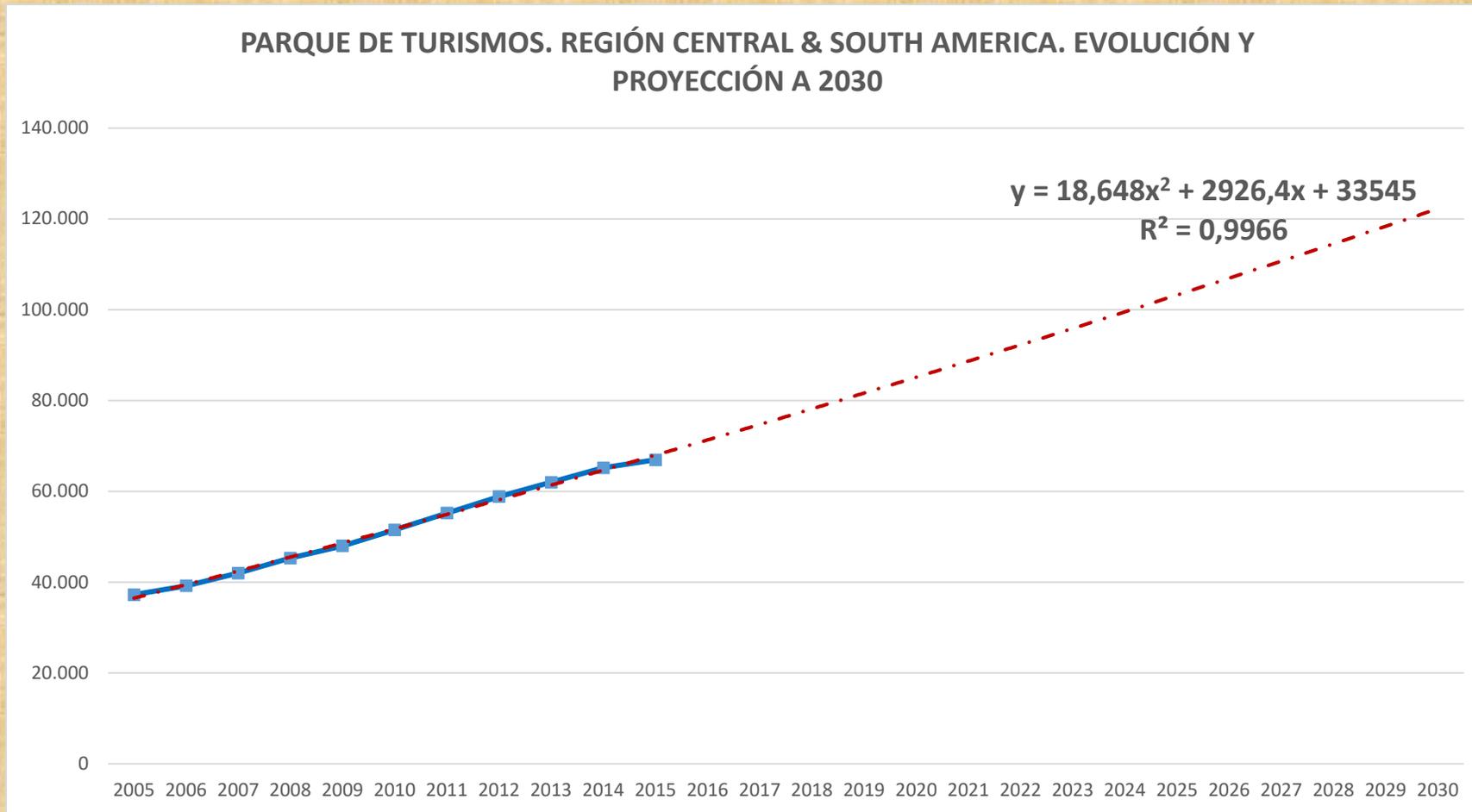
# Evolución de la movilidad de las personas en la EU-28, por modos de transporte (Fuente: EU-Transport in Figures)



# PARQUE MUNDIAL DE TURISMOS (Miles). TENDENCIA



# PARQUE DE TURISMOS (Miles). REGIÓN CENTRAL & SOUTH AMERICA



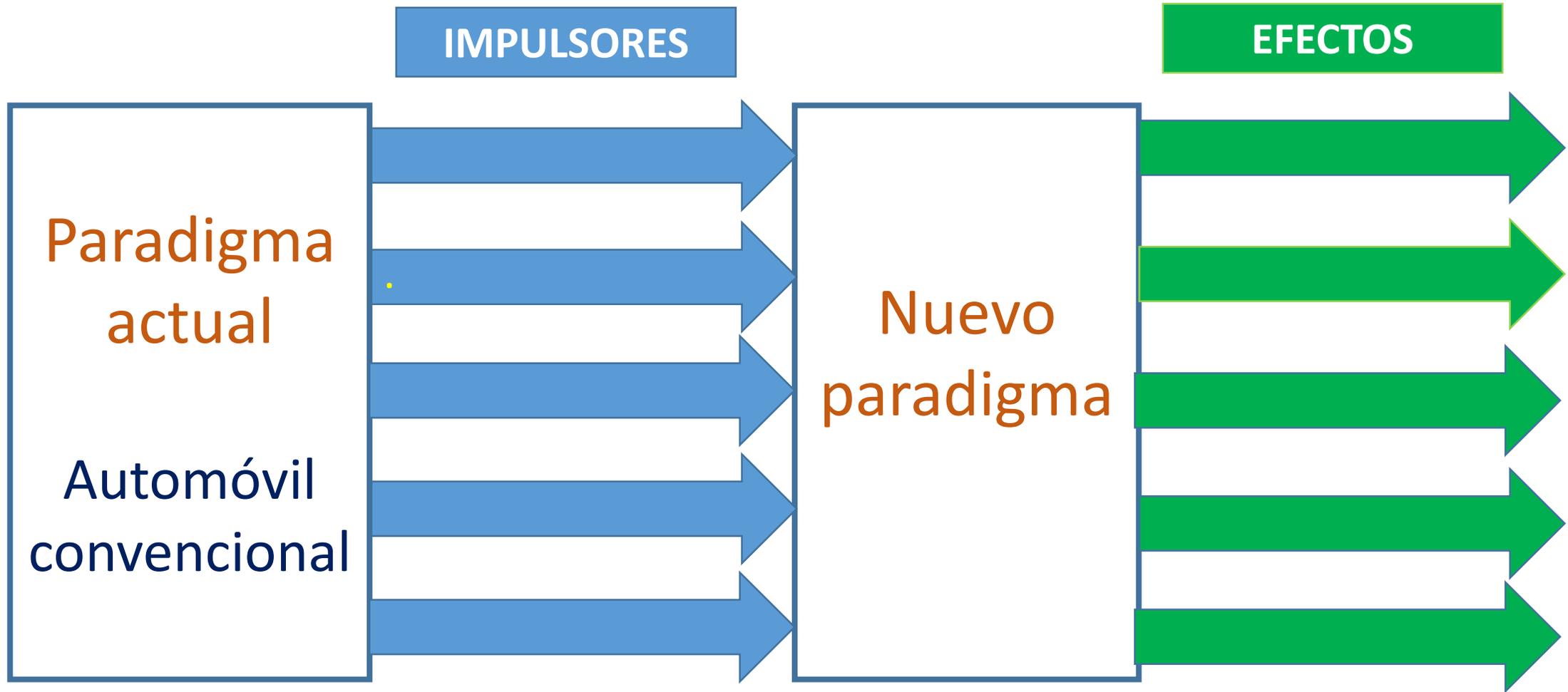
# **FUTURO DE LA MOVILIDAD HUMANA**

## **PAPEL DEL AUTOMÓVIL**

**EN LA ACTUALIDAD ASISTIMOS A IMPORTANTES  
DISRUPCIONES TECNOLÓGICAS QUE AFECTAN A  
LOS VEHÍCULOS Y SU UTILIZACIÓN**

**EL AUTOMÓVIL INFLUIRÁ Y SERÁ  
INFLUENCIADO POR CAMBIOS DE  
PARADIGMA DE LA MOVILIDAD**

# CAMBIO DE PARADIGMA DE LA MOVILIDAD. IMPULSORES Y EFECTOS



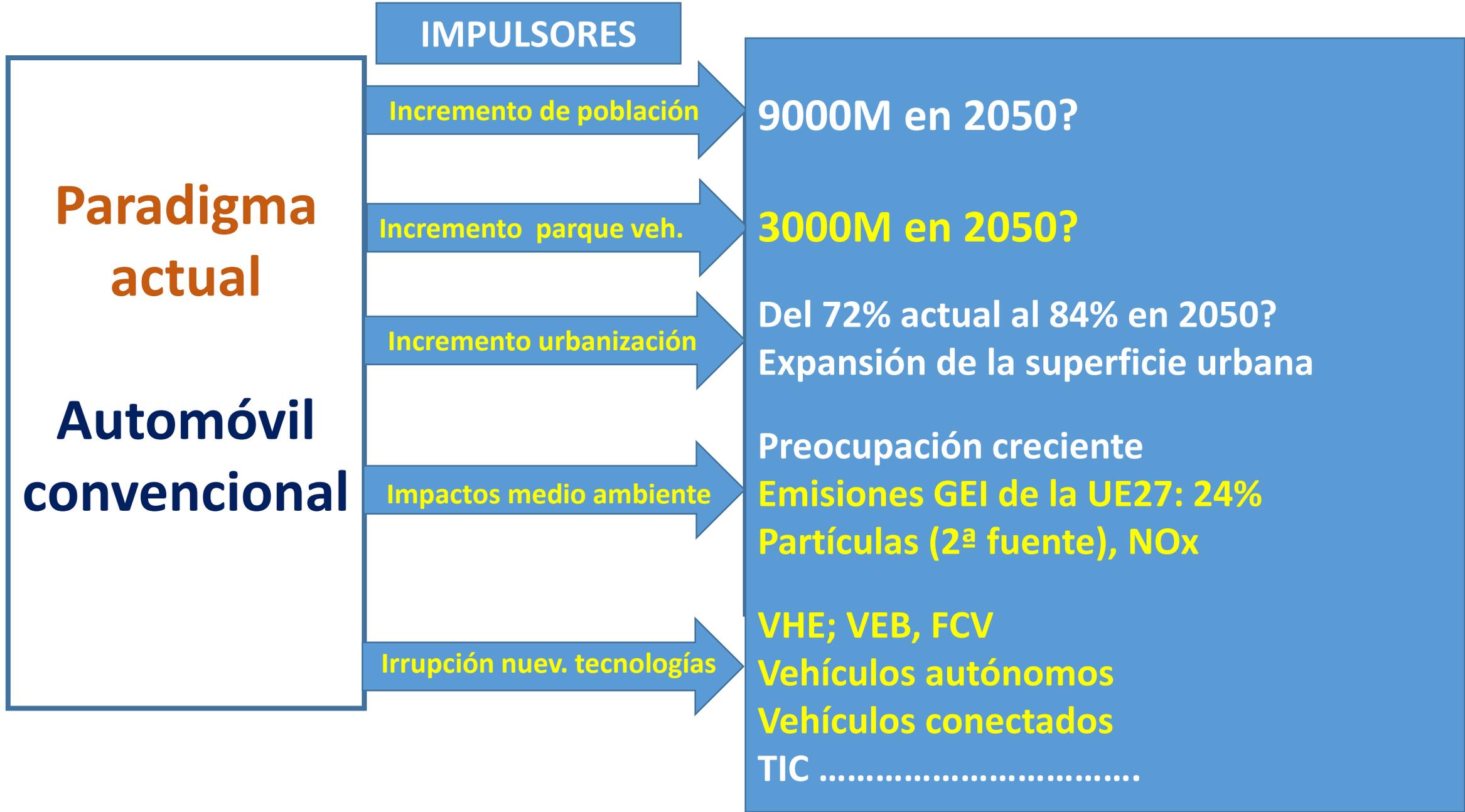
# CAMBIO DE PARADIGMA DE LA MOVILIDAD. IMPULSORES Y EFECTOS

**Paradigma  
actual**

**Automóvil  
convencional**

- Movilidad personal y familiar basada en el uso de **vehículos automóviles** asociados a libertad, autonomía, estatus, confort, ...
- **Motor de combustión interna** y combustibles fósiles
- **Costes externos** asumidos por la sociedad (CO2, contaminantes, congestión....)
- **Fabricantes** de vehículos actores principales. Dominio de las tecnologías esenciales: MCI, transmisión ...
- **Usuarios** mayoritariamente propietarios del vehículos
- .....

# CAMBIO DE PARADIGMA DE LA MOVILIDAD. IMPULSORES Y EFECTOS



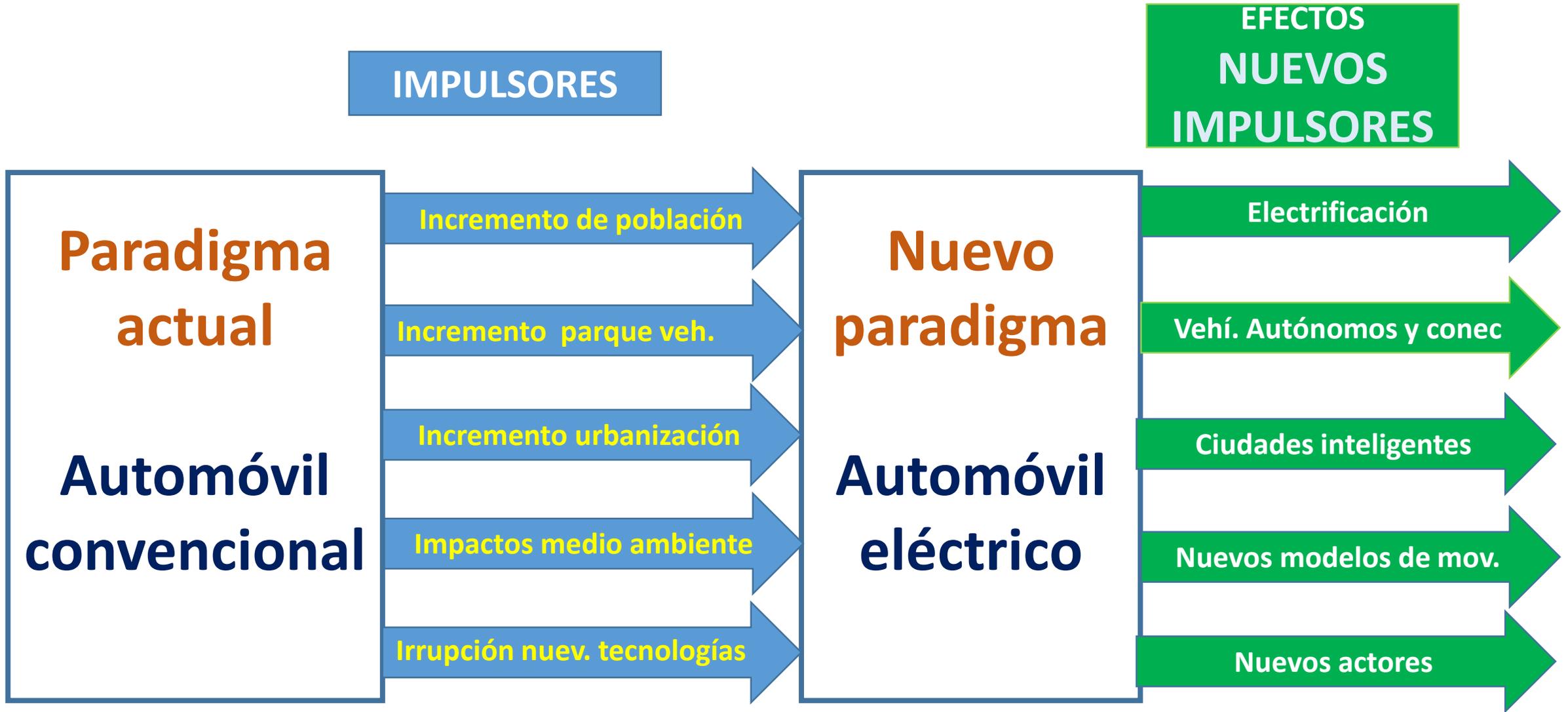
# CAMBIO DE PARADIGMA DE LA MOVILIDAD. IMPULSORES Y EFECTOS

- **Diversificación** de los medios y tipos de movilidad
- **Descarbonización** e incremento de la calidad del aire.
- Vehículos eléctricos** .....
- **Uso eficiente de vehículos:** vehículos compartidos, viajes compartidos
- **Energía:** limpia, diversificada y uso optimizado
- **Cadena de valor de la movilidad:** cambios significativos, nuevos actores
- **Los servicios** ganan importancia en relación a los productos
- .....

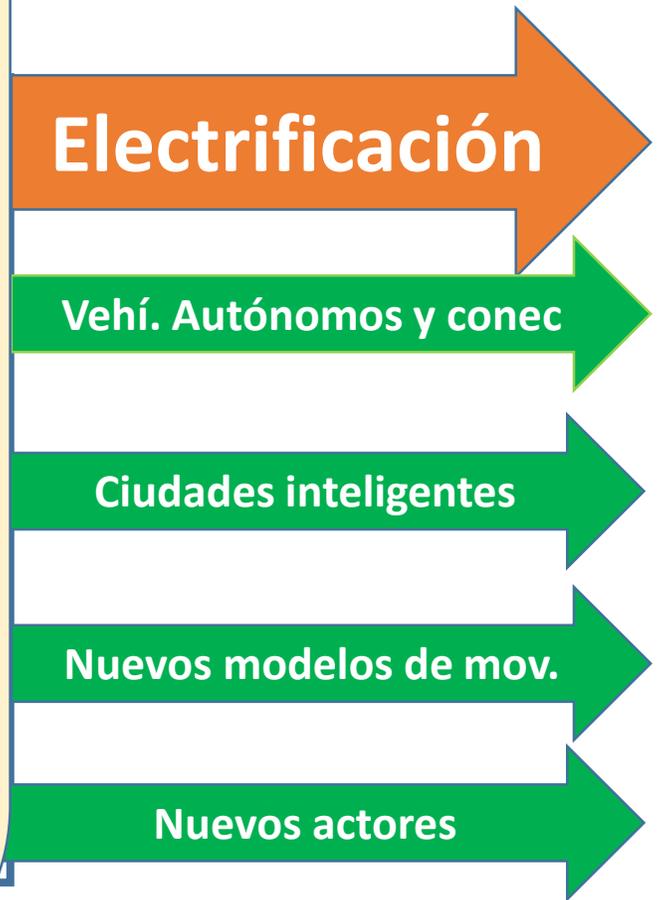
**Nuevo  
paradigma**

**Automóvil  
eléctrico**

# CAMBIO DE PARADIGMA DE LA MOVILIDAD. IMPULSORES Y EFECTOS



- La **electrificación** de los medios de transporte en ciudades es un camino **irrenunciable**
- Las **tecnologías de vehículos eléctricos** alcanzan un alto grado de desarrollo con diferentes niveles:
  - >> HIBRIDACIÓN (BAJA, MEDIA, ALTA)
  - >> ENCHUFABLES
  - >> DE BATERÍAS
  - >> DE CELULA DE COMBUSTIBLE
- La oferta actual de vehículos **no satisface la totalidad de segmentos de demanda**



Electrificación

Vehí. Autónomos y conec

Ciudades inteligentes

Nuevos modelos de mov.

Nuevos actores

## BARRERAS

- Niveles de autonomía y precios
- Oferta <<>> demanda
- Beneficios ecológicos dependen del mix energético
- Las infraestructuras de recarga muy insuficientes
- .....



Electrificación

Vehí. Autónomos y conec

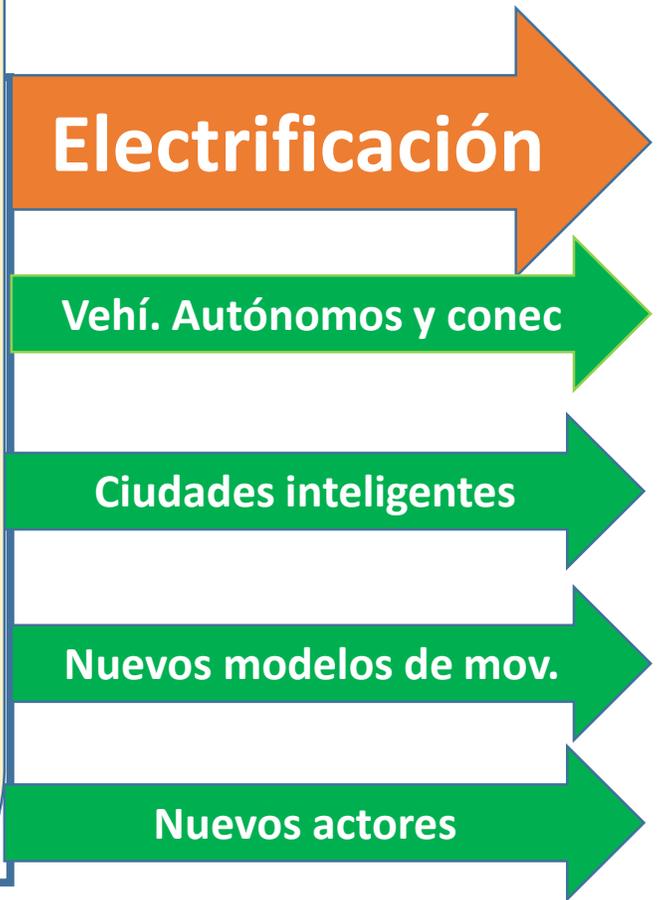
Ciudades inteligentes

Nuevos modelos de mov.

Nuevos actores

## INCERTIDUMBRES

- **Plazos** para el desarrollo del parque
- **Nuevas tecnologías** de baterías, celda de combustible ..
- **Uso o reciclado de baterías**
- **Impactos geopolíticos. Este-Oeste**
- **Impactos industriales. Nuevos actores**
- **Impactos en el empleo asociado al Sector**
- .....



Electrificación

Vehí. Autónomos y conec

Ciudades inteligentes

Nuevos modelos de mov.

Nuevos actores

# CAMBIO DE PARADIGMA DE LA MOVILIDAD. IMPULSORES Y EFECTOS

- Importante **disrupción** de la relación usuario-vehículo. **Del Automóvil al “objeto móvil con ruedas”**
- Proceso iniciado en los 80 con el ABS: **CONDUCCIÓN COOPERTIVA → AUTOMÁTICA**
- **CONTROL DINÁMICO → ANÁLISIS DE ENTORNO → ELECCIÓN DE TRAYECTORIA → CONEXIÓN V2V, V2I....**
- **Incremento progresivo** de funciones automáticas de conducción y entornos especiales
- **Experiencias prometedoras:** GOOGLE, MERCEDES ....
- **Tecnologías** en avanzado estado de desarrollo: ¿95% de situaciones habituales y extraordinarias de conducción?
- **Importantes actores** interesados: tradicionales y emergentes

## EFECTOS

Electrificación

Vehí. Autónomos  
y conectados

Ciudades inteligentes

Nuevos modelos de mov.

Nuevos actores

# CAMBIO DE PARADIGMA DE LA MOVILIDAD. IMPULSORES Y EFECTOS

## BARRERAS

- Importantes hasta alcanzar el nivel 6 de ISO
- ❖ **TECNOLÓGICAS.** Robusto en “todas” las situaciones
- ❖ **REGULATORIAS.** Uniformidad de lenguajes .....
- ❖ **RESPONSABILIDADES** en caso de accidente
- ❖ **ACEPTACIÓN** de usuarios
- ❖ Desarrollo de **INFRAESTRUCTURAS “INTELIGENTES”**
- ❖ .....

## EFECTOS

Electrificación

Vehí. Autónomos  
y conectados

Ciudades inteligentes

Nuevos modelos de mov.

Nuevos actores

# 337 CAMBIO DE PARADIGMA DE LA MOVILIDAD. IMPULSORES Y EFECTOS

## INCERTIDUMBRES

- **TIEMPOS** para la generalización y etapas intermedias (IEEE: 75% en 2040 en USA ¿?)
- **PROCESO TRANSITORIO** hasta la posible automatización de todo el parque: coexistencia de vehículos convencionales y autónomos
- **ACTORES** dominantes: ¿fabricantes actuales de vehículos? ¿nuevos actores? ¿alianzas?
- **AREAS GEOGRÁFICAS** de mayor progreso inicial: ¿Ciudadanos de países emergentes mejor dispuesto?
- ¿.....?

## EFECTOS

Electrificación

Vehí. Autónomos  
y conectados

Ciudades inteligentes

Nuevos modelos de mov.

Nuevos actores

# CAMBIO DE PARADIGMA DE LA MOVILIDAD. IMPULSORES Y EFECTOS

➤ “Optimización de la gestión de datos para mejorar los servicios urbanos”

TRANSPORTE, ENERGÍA, SALUD, SEGURIDAD,.....

➤ Anticipación al riesgo de “trombosis” de los sistemas

➤ Compacidad, modelos policéntricos, reducción de viajes ..

➤ Movilidad multimodal. Diversificación de servicios de movilidad

➤ Optimización de rutas, flotas y uso de vehículos

➤ Uso de vehículos eléctricos; gestión de redes de recarga; uso de energías limpias

➤ .....

EFECTOS

Electrificación

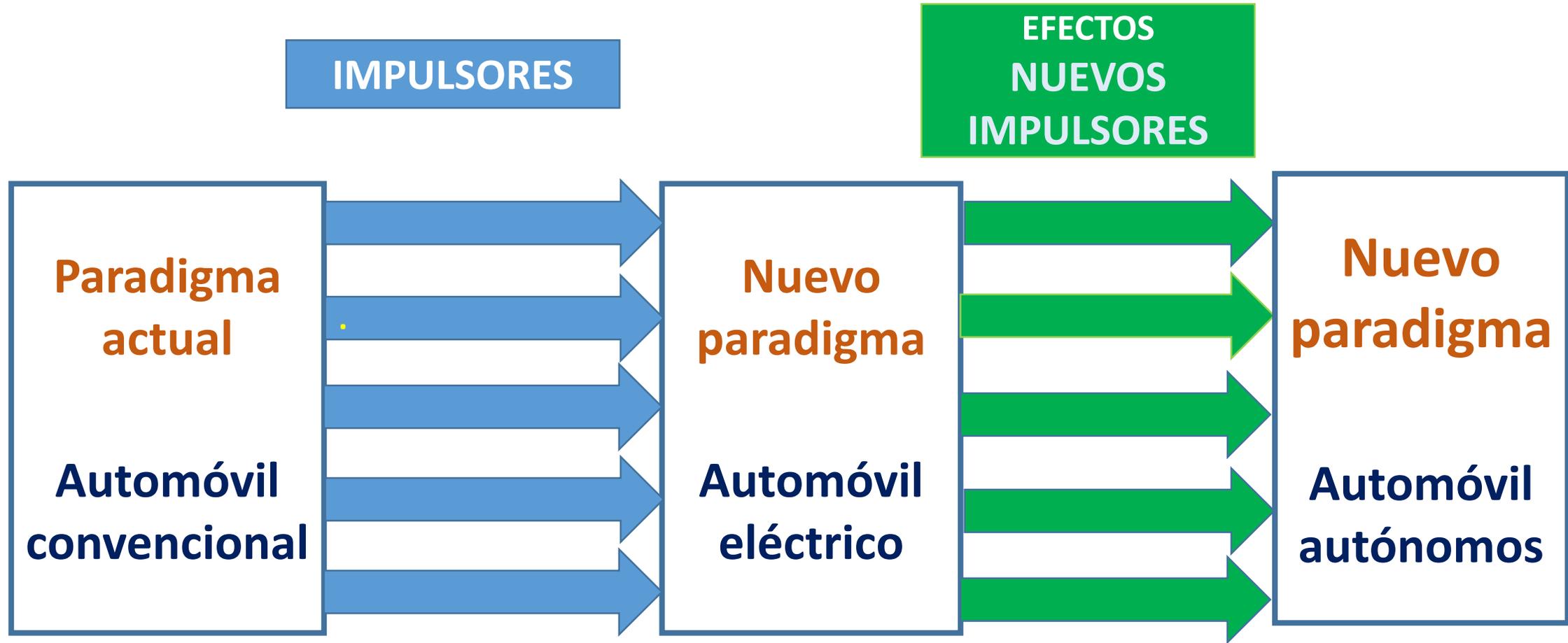
Vehí. Autónomos y conec

Ciudades  
inteligentes

Nuevos modelos de mov.

Nuevos actores

## CAMBIO DE PARADIGMA DE LA MOVILIDAD. IMPULSORES Y EFECTOS



# CAMBIO DE PARADIGMA DE LA MOVILIDAD. IMPULSORES Y EFECTOS

## APORTACIONES POTENCIALES

- **SEGURIDAD** ¿cero víctimas en accidente?
- **MOVILIDAD AMPLIADA:** mayores, personas con discapacidad ...
- **OPTIMIZACIÓN** de flotas, flujos de tráfico, consumos de energía, tiempos de viaje ...
- **REDUCCIÓN DEL PARQUE** de vehículos
- Favorece la **ELECTRIFICACIÓN**
- **REDUCCIÓN DE IMPACTOS** medioambientales de la movilidad
- Nuevos **MODELOS DE NEGOCIO:** taxis sin conductor; flotas de uso compartido
- .....

**Nuevo  
paradigma**

**Automóvil  
autónomos**

# AUTOMÓVIL, MOVILIDAD HUMANA Y DESARROLLO

- BREVE MIRADA RETROSPECTIVA A LA EVOLUCIÓN DE LA MOVILIDAD HUMANA
- EL SIGLO XIX CAMBIA EL PANORAMA DE LA MOVILIDAD
- LA SOCIALIZACIÓN DE LA MOVILIDAD, FRUTO DE NUESTRO TIEMPO
- AUTOMÓVIL Y MOVILIDAD
- NUEVOS PARADIGMAS DE LA MOVILIDAD HUMANA
- **EL FUTURO: CERTEZAS E INCERTIDUMBRES**

# UN NECESARIO CAMBIO DE PARADIGMA CON AMENAZAS, RETOS Y OPORTUNIDADES

- **EL INCREMENTO DE LA MOVILIDAD Y SU IMPACTO SOBRE EL MEDIOAMBIENTE EXIGE CAMBIOS EN LOS PARADIGMAS ENERGÉTICO Y TECNOLÓGICO ACTUALES, Y ELLO AFECTA ESPECIALMENTE A LOS VEHÍCULOS AUTOMÓVILES Y REDES DE SUMINISTRO DE ENERGÍA.**
- **LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS CONSTITUYEN UNA SOLUCIÓN PARA LA MOVILIDAD SOSTENIBLE, A CORTO Y MEDIO PLAZO, SI SE CUENTA CON SISTEMA EFICIENTE DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA LIMPIA. EL HIDROGENO DEBE CONTEMPLARSE COMO UNA SOLUCIÓN DE FUTURO.**

# HOJA DE RUTA PLAGADA DE INCERTIDUMBRES

- **LA HOJA DE RUTA PARA EL INCREMENTO DEL USO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO OFRECE INCERTIDUMBRES DERIVADAS, ESPECIALMENTE, DE LOS NIVELES ACTUALES DE COSTE Y AUTONOMÍA DE LOS VEHÍCULOS Y DE LAS CARENCIAS EN INFRAESTRUCTURAS DE RECARGA.**

# UN PILAR FUNDAMENTAL DE NUESTRA ECONOMÍA PUEDE VERSE SERIAMENTE AMENAZADO

- **LA INDUSTRIA DE AUTOMOCIÓN ES UN PILAR FUNDAMENTAL DE LA ECONOMÍA DE LOS PAISES DESARROLLADOS Y EL SECTOR EN SU CONJUNTO EN LA MAYORÍA DE PAISES. SIN LAS DECISIONES ADECUADAS LA TRANSICIÓN HACIA LA ELECTROMOVILIDAD PUEDE TENER EFECTOS INDESEADOS SOBRE LA ECONOMÍA Y EL EMPLEO**

## **LAS INCERTIDUMBRES, CIERTAS RESTRICCIONES Y LAS CONDICIONES ASOCIADAS A LA OFERTA ACTUAL DE VEHICULOS TIENEN EFECTOS EN LA DISTRIBUCIÓN EN CIUDADES**

- **EN MUCHOS PAISES, EL SECTOR DE DISTRIBUCIÓN Y LOGÍSTICA, EN PLENA EXPANSIÓN, SOBRE TODO POR EL COMERCIO ELECTRÓNICO, ESTÁ SIENDO DIRECTAMENTE AFECTADO POR LAS RESTRICCIONES DE USO DE VEHÍCULOS Y LAS INCERTIDUMBRES RESPECTO A LAS TECNOLOGÍAS DE PROPULSIÓN**

## **LA SITUACIÓN ACTUAL DE LAS INFRAESTRUCTURAS DE RECARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS CONSTITUYEN UN FRENO IMPORTANTE A LA EXPANSIÓN DEL PARQUE**

- **LOS SISTEMAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DEBEN SER CAPACES DE ATENDER A LA NUEVA DEMANDA DEL TRANSPORTE CON ELEVADA PROPORCIÓN DE ENERGÍAS DE ORIGEN RENOVABLE**
- **LAS INFRAESTRUCTURAS DE RECARGA DEBEN DESARROLLARSE AL RITMO QUE DEMANDA UNA ELECTRIFICACIÓN DEL PARQUE DE VEHÍCULOS A VELOCIDAD SIGNIFICATIVA**

347

**CONVERTIR EN OPORTUNIDADES LOS RETOS  
REQUIERE PARTICIPAR ACTIVAMENTE EN LA CARRERA HACIA EL  
PLENO DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS**

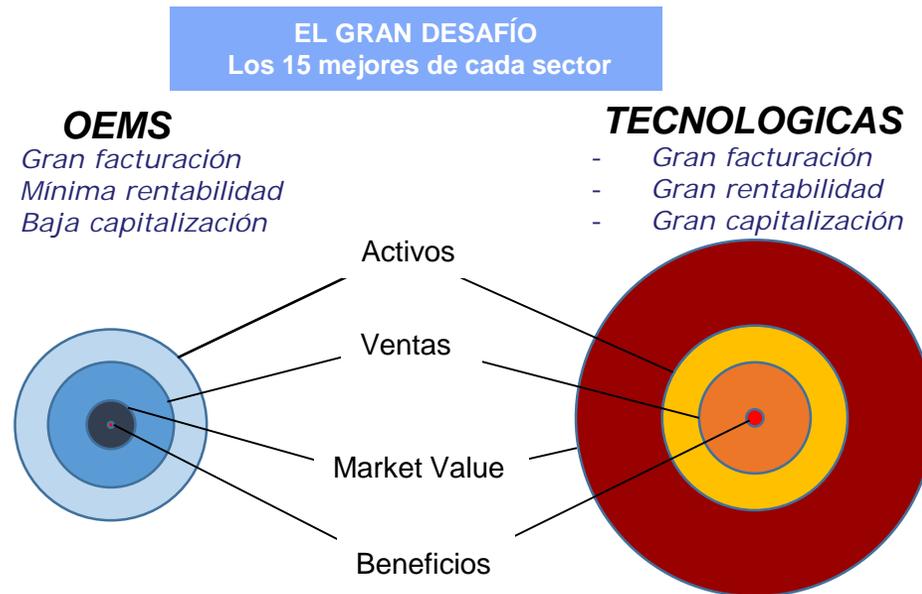
- **PARA LOS FABRICANTES DE VEHÍCULOS, LA INCORPORACIÓN DE NUEVOS ACTORES PUEDE MODIFICAR EL PANORAMA INDUSTRIAL ACTUAL**
- **EL MAPA ACTUAL DE MATERIAS PRIMAS (LITIO ..) Y TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN DE BATERÍAS PUEDE CAUSAR IMPACTOS GEOPOLÍTICOS Y ECONÓMICOS IMPORTANTES SI LOS RITMOS DE AVANCE HACIA LA ELECTROMOVILIDAD SON MUY ELEVADOS**

## DE "SECTOR SILO" A "SECTOR ABIERTO": ¿MARCAS "BLANCAS"?

### EL VE impacta fuertemente en el ecosistema industrial de la automoción:

- Desaparece el motor térmico, 30% del producto actual y clave en el know-how acumulado de los OEMs y lo sustituye la batería, con otros protagonistas fuera del sector
- Los procesos de aprovisionamiento y fabricación tradicionales (legacy technologies) tienen que ser rediseñados y simplificados
- La formación especializada tradicional tiene que modificarse

Y reduce las barreras de entrada al sector abriéndolo a la competencia intersectorial (tecnológicas, energéticas, financieras, aseguradoras, agregadores digitales, etc.)



	OEMs	TECNs	
Sales	140,63	123,60	
Assets	213,73	207,01	
Profits	6,38	18,87	x3
Market Value	52,53	399,18	x8
Benef/ventas	4,54	15,27	x4
Benef/activos	2,99	9,12	x3

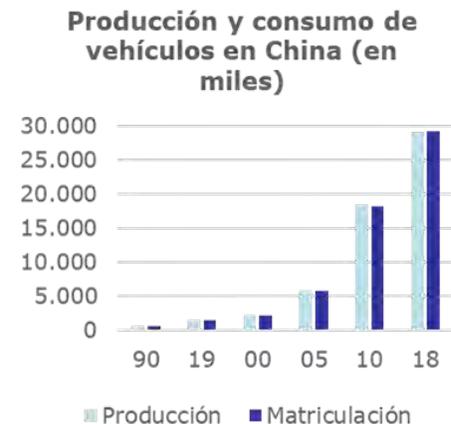
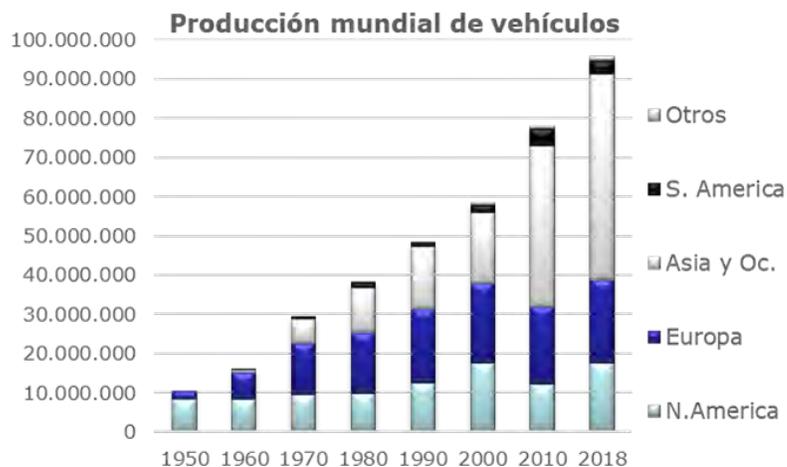
Fuente: Elaboración propia sobre datos Forbes Lista 2019 Global 2000

## DE OCCIDENTE A ORIENTE: CAMBIOS INTRASECTORIALES

### ***EL VE tiene también un fuerte impacto territorial***

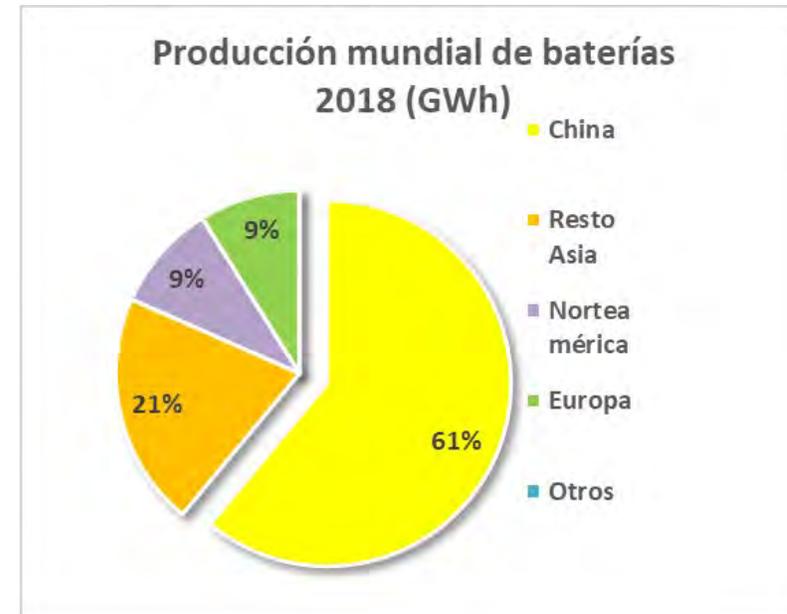
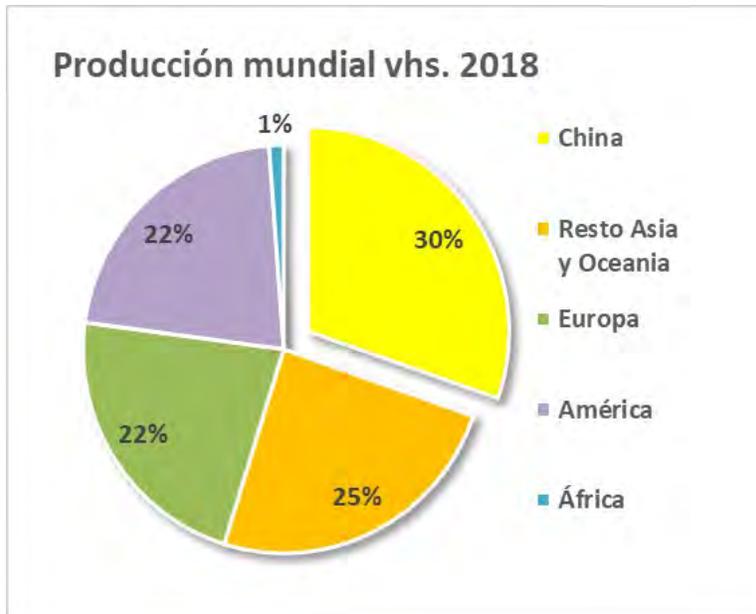
- *Europa está retrasada en el ecosistema eléctrico y sus mercados están ya muy maduros y España tiene una gran concentración de marcas europeas*
- *La globalización en los mercados se está frenando: las exportaciones de vehículos son cada vez más objeto de negociaciones bilaterales.*
- *La reducción de procesos implicará también reducción de empleo y de fábricas, sobre todo las filiales más antiguas.*

***Y refuerza tendencias ya establecidas. Japón y Corea del Sur demostraron en los 80-90 su capacidad productora y exportadora y China, que es ya el líder en producción, pronto empezará a exportar. El VE y el protagonismo económico e industrial de las baterías les puede permitir pasar de “imitadores” a “pioneros”.***



## Escenarios de cambio : retos y oportunidades

CHINA YA ES EL LIDER EN PRODUCCION DE VHS Y EL MEGALIDER EN BATERÍAS

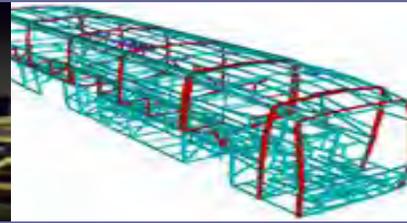


Fuente: Elab. propia sobre datos OICA y B.M. Technologies



# INSIA

Instituto Universitario de Investigación del Automóvil



## ENTREGA DE DIPLOMAS DE PROGRAMAS MASTER DEL INSIA

# AUTOMÓVIL, MOVILIDAD Y DESARROLLO

### D. Francisco Aparicio Izquierdo

- Catedrático Emérito de la UPM
- Presidente del INSIA, Presidente de ASEPA



**OVILAM**  
OBSERVATORIO VIAL LATINOAMERICANO

## 2<sup>do</sup> CONGRESO SOBRE MEDIOS de TRANSPORTE Y SUS TECNOLOGÍAS ASOCIADAS

**“SOLUCIONES INTELIGENTES PARA COMBATIR  
LA INSEGURIDAD VIAL”**

[ Soluciones Integrales en Seguridad Vial ]

## FUENTES DE SOLUCIONES

- Decisión política
- Equipos idóneos
- Capacitación
- Concientización
- Otorgamiento de licencias
- Control
- Sanción
- Infraestructura
- Legislación

## DECISIÓN POLÍTICA



- En el año 2018, con la promulgación de la ley 26363 se declaró que la seguridad vial sería una política de estado.
- Federalismo. Premios y castigos.
- Solución que trae problemas políticos.
- No hay demanda social.

## EQUIPOS IDÓNEOS



- Entre Nación, Provincias y Municipios necesitaríamos tener no menos de 5.000 profesionales de la seguridad vial.
- No los tenemos a ningún nivel en cantidad suficiente. (Punteros políticos, favores, amigos)

## CAPACITACIÓN



- Está previsto en la Ley 24449 y leyes posteriores desde el nivel pre-escolar.
- Los privados han hecho más y mejor que el Estado.
- Lucha entre EDUCACIÓN Y EJEMPLO.

## CONCIENTIZACIÓN



- Seguimos con modelos básicos (Usar casco salva vidas, Si tomaste no conduzcas)
- Debemos ir a modelos más modernos enfocados a jóvenes.
- Alcohol y Drogas, Motos, Distracciones, Velocidad.

## OTORGAMIENTO DE LICENCIAS



- Cambiar el sistema de raíz. Caducidad de licencias.
- Sistema único nacional sin prescindir de los municipios.
- Sistema escalar. (Australia)
- Preparación **ESTRICTA** de examinadores.

## CONTROL



- Pocos y malos. Basados en tecnología estática.
- Controles dinámicos y pedagógicos.
- Controles basados en la problemática general y local.
- LEYES CLARAS Y UNIFICADAS SIN TRAMPAS.  
Descreimiento, Recaudatorias

# SANCIÓN



- Sistema unificado de amonestaciones.
- Scoring Nacional.
- Sanciones basadas en la suspensión temporaria de licencias. (Faltas graves)
- Envíos, descargos, sanciones CLARAS Y LEGALES

## INFRAESTRUCTURA



- Mejoras en los últimos tres años.
- Revisar el sistema de concesiones.
- Modernización de señalizaciones. Aporte de tecnología.
- Pequeñas mejoras, grandes soluciones. (Rotondas, dársenas, señalización, banquetas, etc)

# LEGISLACIÓN



- **NUEVA LEY NACIONAL DE TRÁNSITO- URGENTE**
- Copia de Ley Emilia.
- Unificación de requisitos.
- Coherencia (Ecosport, Vidrios polarizados, etc)

# Muchas Gracias



*Cuando pienses en seguridad vial, pensá en* **OVILAM**

## CONTÁCTENOS:

 [www.ovilam.com.ar](http://www.ovilam.com.ar)

 [info@ovilam.com](mailto:info@ovilam.com)

 [www.facebook.com/ovilam1](http://www.facebook.com/ovilam1)

 [@OVILAM\\_SV](https://twitter.com/OVILAM_SV)

 +5411 911 5101 6095

 +5411 911 3025 7402

# VALOR AGREGADO EN LA CADENA DE PRODUCCIÓN DE LITIO: SU IMPACTO EN LA ELECTROMOVILIDAD

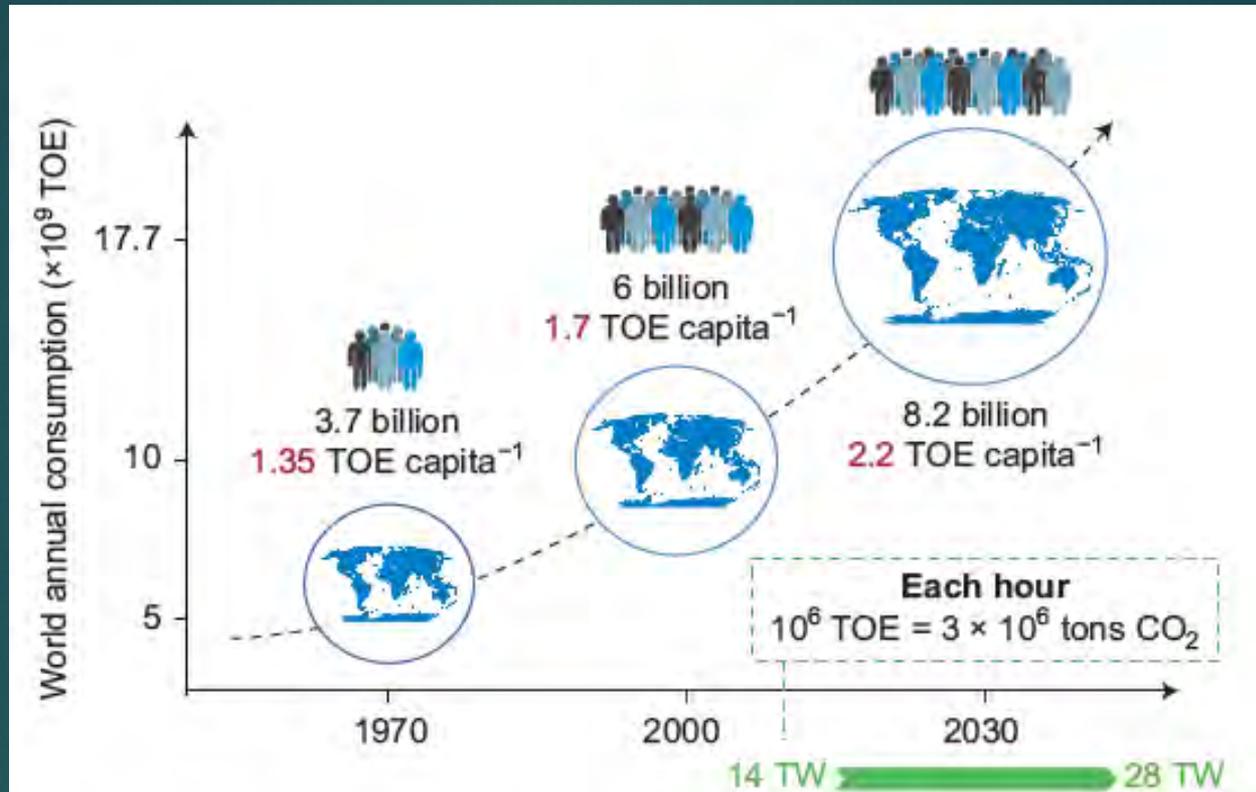
*Dr. Walter Legnani*



# Hoja de Ruta

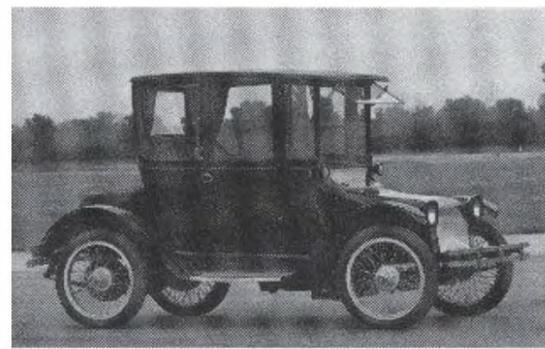
1. Ventajas de los vehículos eléctricos
2. Ventajas de las baterías de Litio
3. Situación Internacional
4. Situación Nacional
5. Paradoja
6. Propuesta

# Demanda de Energía

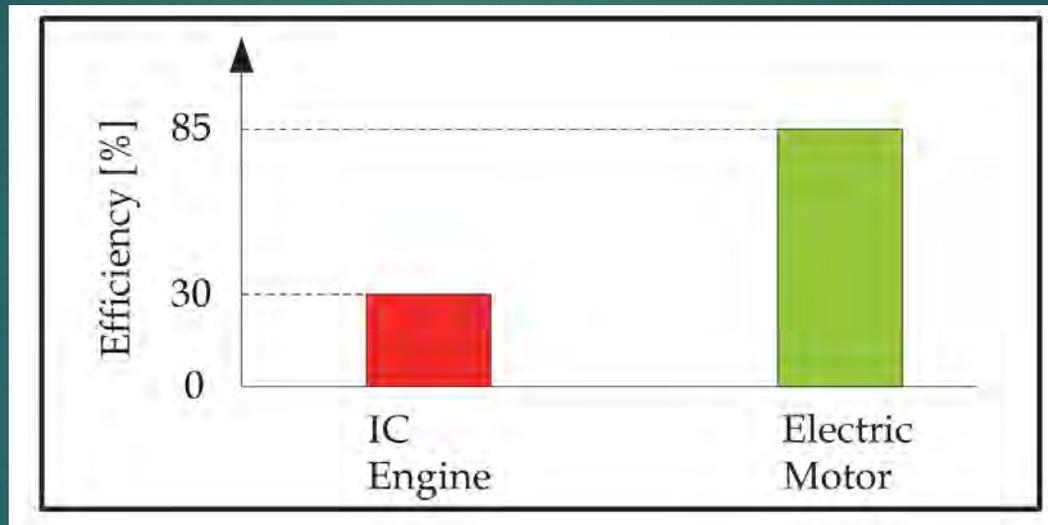


**Figure 1 | Past, present and forecast of the world's energy needs up to 2050.** With the changing lifestyles of an increasing number of inhabitants, our energy rate demand will double from 14 TW (2010) to 28 TW (2050). TOE = ton of oil equivalent. Map: © Macmillan Mexico/Haide Ortiz Ortiz, Mario Enrique Ramírez Ruiz.

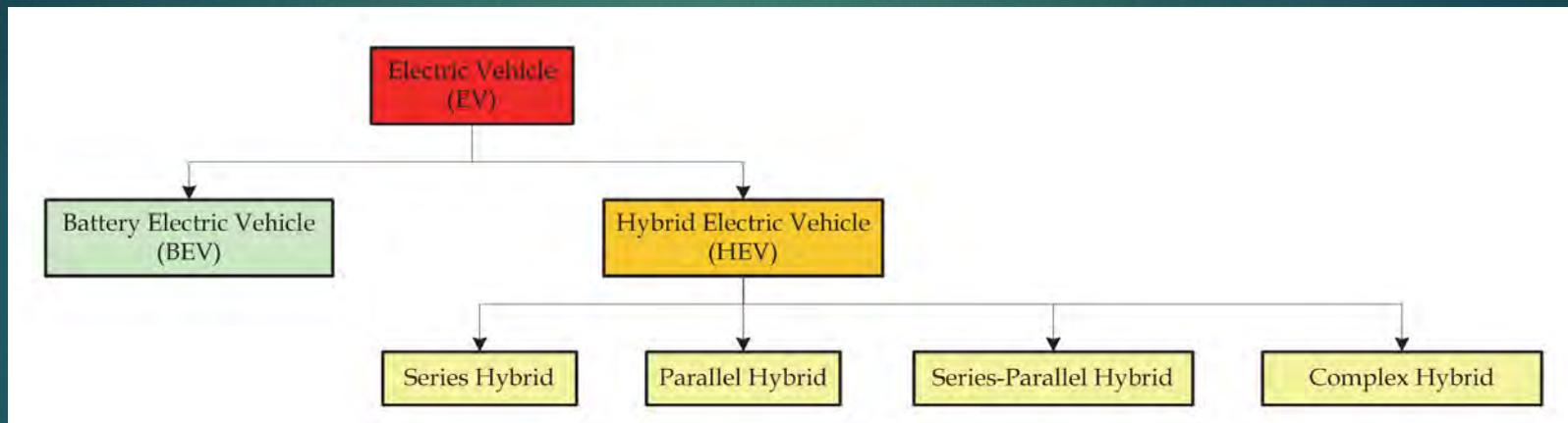
# Autos eléctricos: una idea original ?



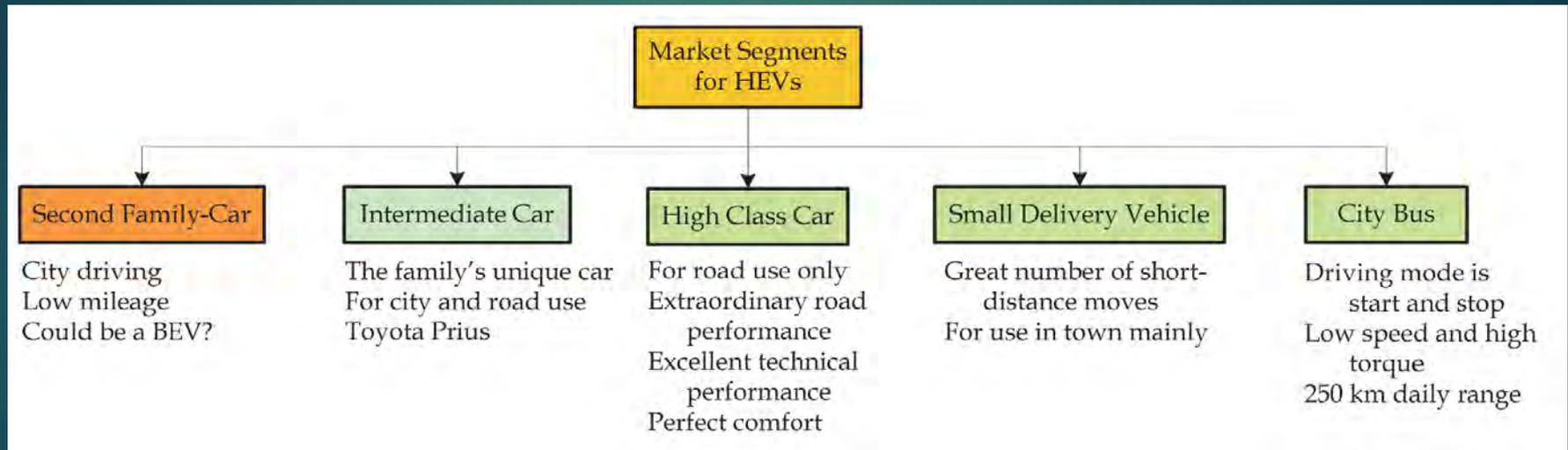
# Eficiencia comparada entre un automóvil movido mediante combustión interna y uno eléctrico



# Tipos de vehículos eléctricos



# Segmentos del Mercado automotor para uso de vehículos eléctricos.

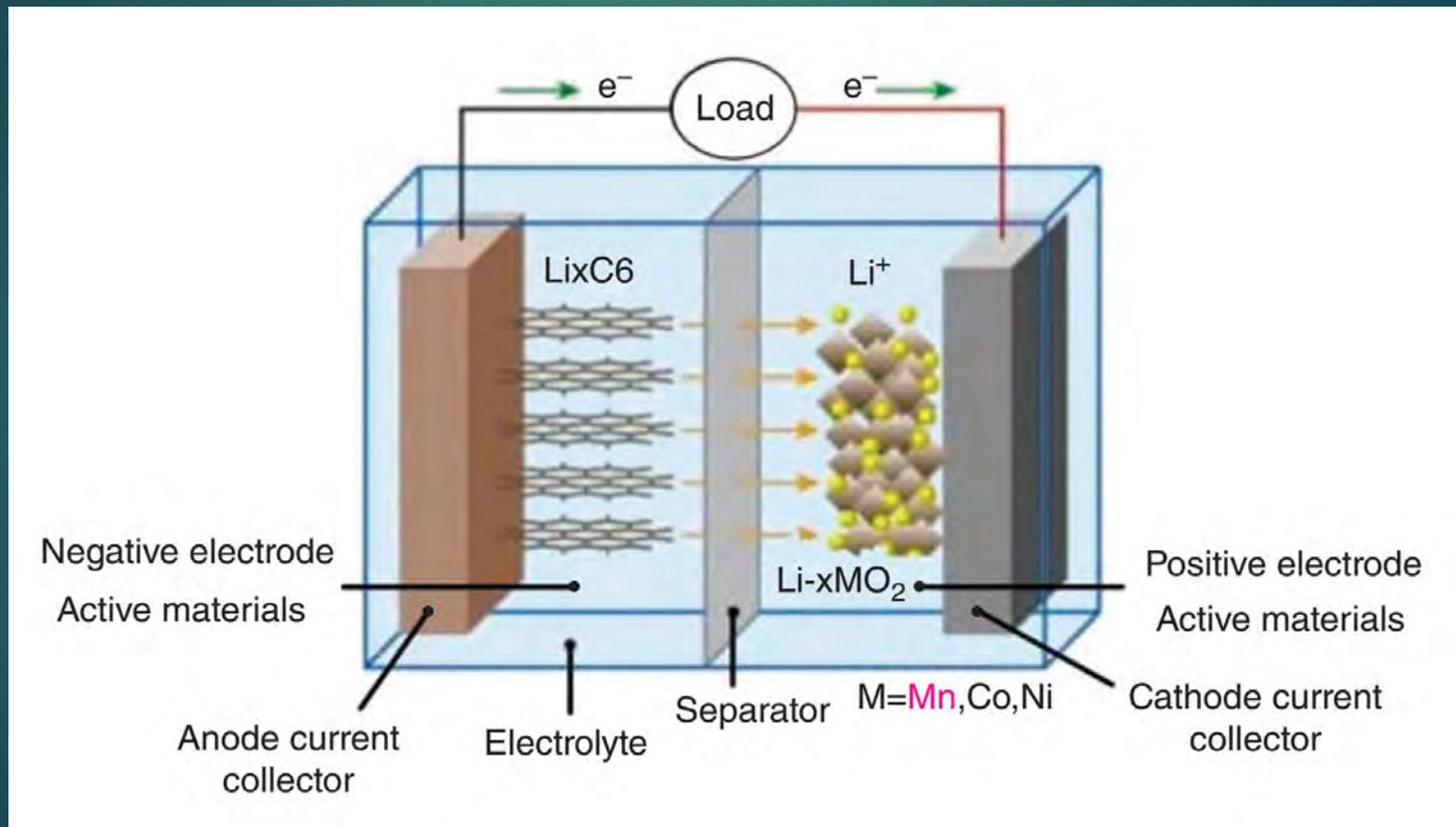


# Marcas y Modelos de VE

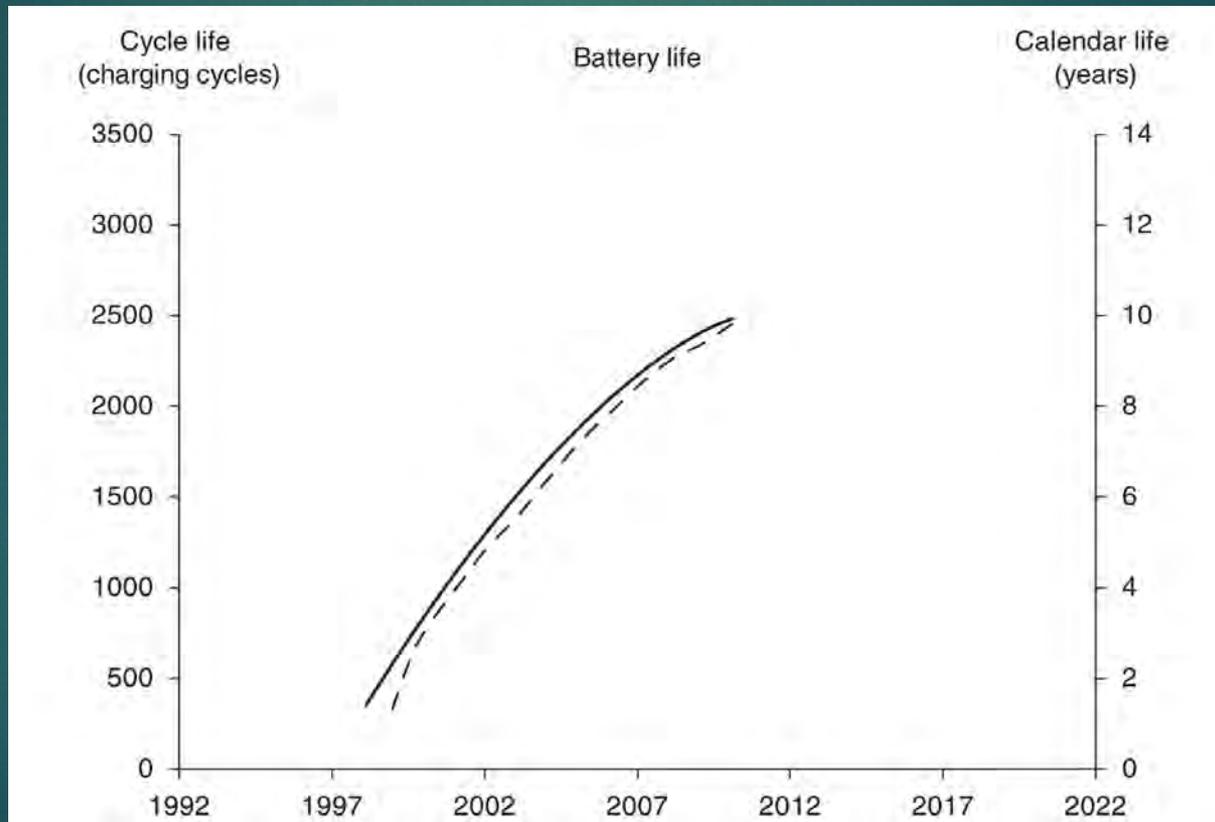
	Brand	Model	Capacity (kWh)	Range (km)	Consumption (kWh/100km)	Vehicle segment
Cars	Audi	e-Tron EV	42.40	248	17.10	Large
	BMW	MINI-E	35.00	180	19.44	Small
	BYD Auto	BYDe6	72.00	400	18.00	Large
	Chery Automobile	S18 EV	15.00	135	11.11	Small
	Chrysler	Dodge Circuit EV	26.00	175	14.86	Large
	CODA	Sedan-EV	33.80	180	18.78	Large
	Daimler	SmartED	14.00	125	11.20	Small
	Detroit	e63	25.00	180	13.89	Mid-Size
	Fiat	Panda	19.68	120	16.40	Small
	FIAT	500	22.00	113	19.53	Small
	Ford	Focus Ev	23.00	160	14.38	Mid-Size
	Ford	Transit Connect	24.00	160	15.00	Mid-Size
	Heuliez	WILL EV	18.00	300	6.00	Small
	Hyundai	i10 Ev	16.00	140	11.43	Small
	Lighting	GTS	35.00	175	20.00	Large
	Loremo EV	Loremo Ev	10.00	150	6.67	Mid-Size
	Lumeneo	Smera EV	10.00	150	6.67	Small
	Mercedes	SLS eDrive	48.00	160	30.00	Large
	MILES	ZX40S/ZX40ST	10.00	105	9.56	Small
	Mitsubishi	i-MIEV	20.00	160	12.50	Small
	NICE	Micro-Vett	10.50	80	13.05	Small
	Nissan	Leaf	24.00	160	15.00	Mid-Size
	Peugeot	iOn	20.00	140	14.29	Small
	Phoenix	SUV/SUT	35.00	209	16.73	Mid-Size
	Pininfarina	Bluecar	30.00	250	12.00	Small
	Citroen	C-Zero	16.00	110	14.55	Small
	Renault	Kangoo	15.00	160	9.38	Small
	Renault	Zoe ZE	15.00	160	9.38	Small
	Renault	TwingoQuickshift E	21.45	129	16.60	Small
	Renault	Fluence	30.00	160	18.75	Mid-Size
	REVA	NXR	14.00	160	8.75	Small
	REVA	NXG	25.00	200	12.50	Small
	Rud. Perf. Roadstar	Spyder	16.00	125	12.80	Large
	SUBARU	R1e	9.00	80	11.25	Small
	SUBARU	Stella	9.00	80	11.25	Small
	Tata Motors	Indica EV	25.00	200	12.50	Small
	TESLA	Roadster/Model S	55.00	300	18.33	Large

	Think	City	28.50	180	15.83	Small
	Toyota	FT-Ev	11.00	150	7.33	Small
	Volkswagen	E-Up!	18.00	130	13.85	Small
	Volvo	C30 BEV	24.00	150	16.00	Mid-Size
	Zenn	CityZENN	52.00	400	13.00	Small
	<b>Brand</b>	<b>Model</b>	<b>Capacity (kWh)</b>	<b>Range (km)</b>	<b>Consumption (kWh/100km)</b>	<b>Classification</b>
LDVs	Alke	ATX	8.40	70	12.00	LDV
	Piaggio	Porter	25.74	110	23.40	LDV
	Melex	XTR	4.32	60	7.20	LDV
	Modec	Delivery	50.00	100	50.00	LDV

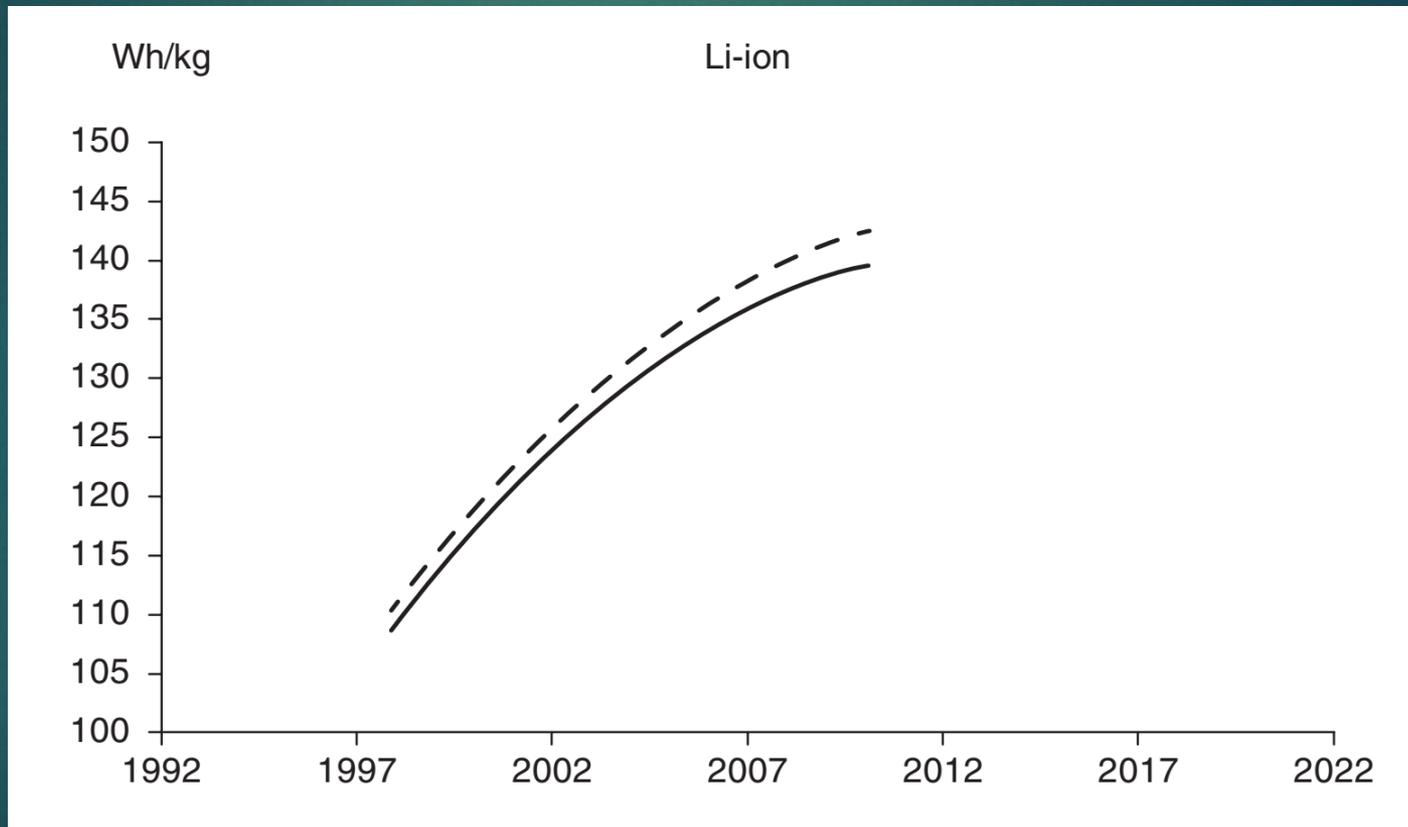
# Constitución elemental de una batería de ion de Li



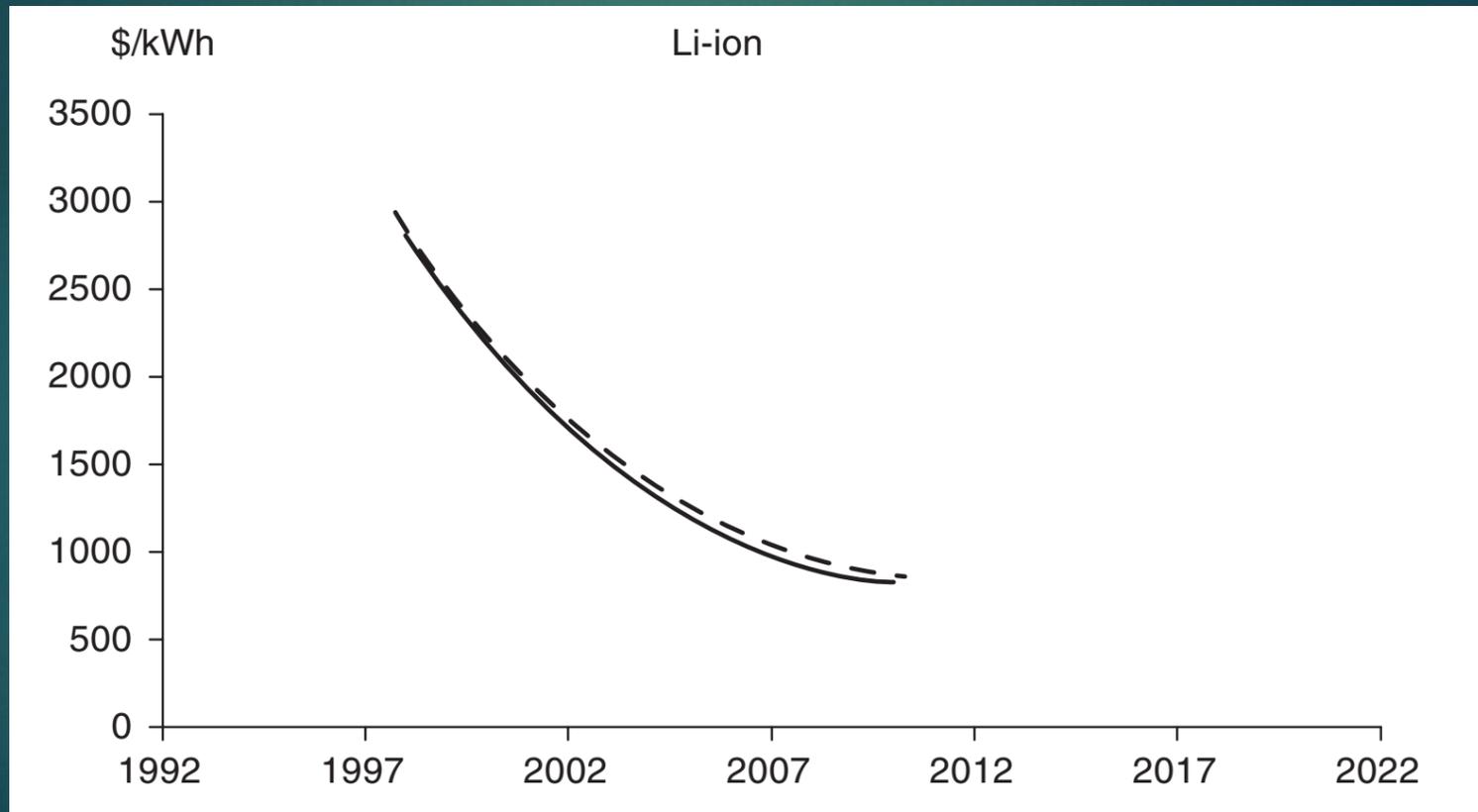
# Evolución de los ciclos de carga y vida útil de una batería de Li para electromovilidad



# Evolución de la energía densidad de energía de baterías de ion de LI



# Evolución del costo de las baterías de ion de Li



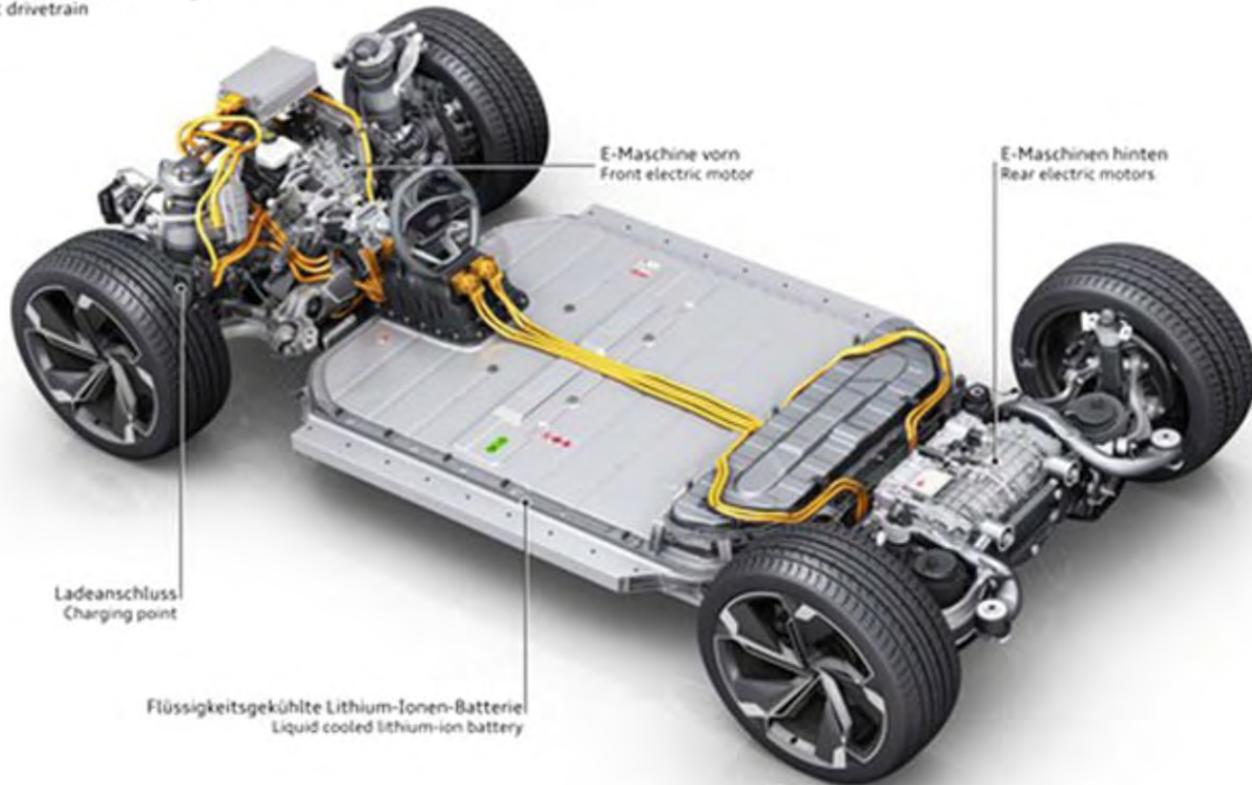
# Disposición de baterías de ion de Li en modelos comerciales

## Audi e-tron Sportback concept

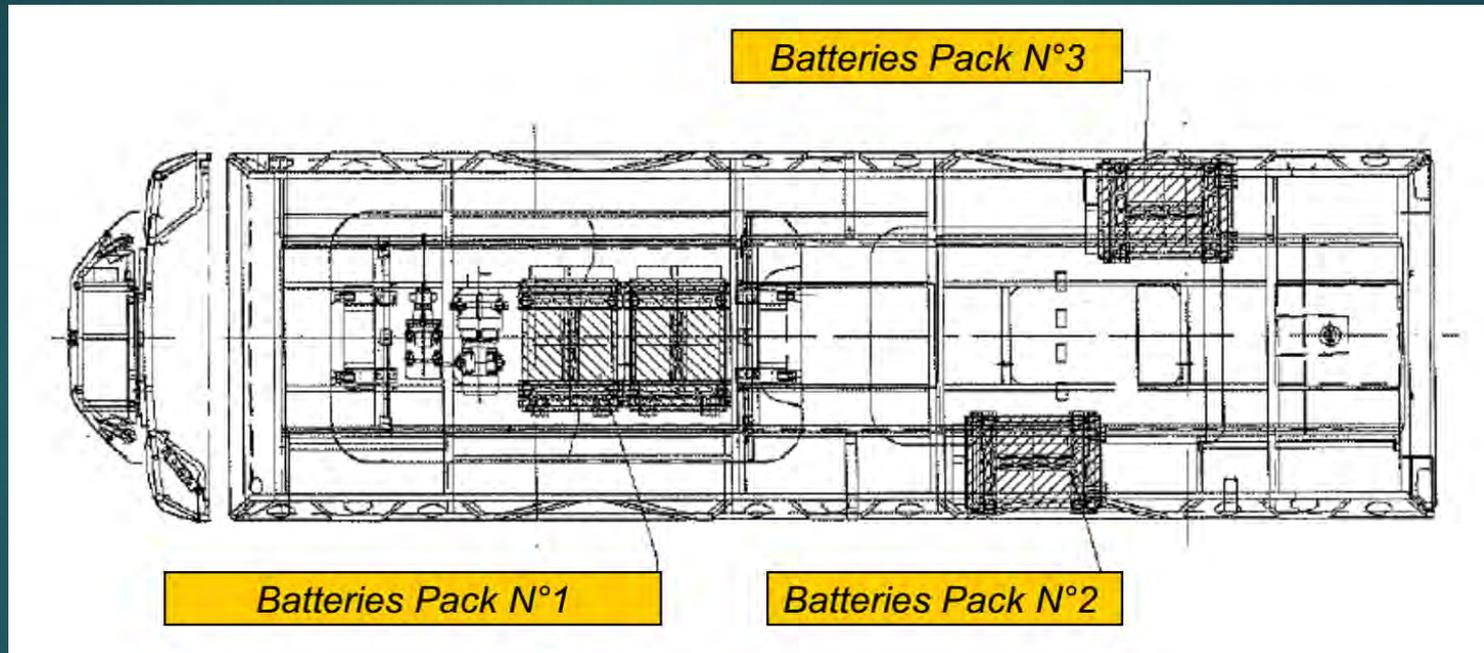
elektrischer Antriebsstrang

Electric drivetrain

04/17



# Disposición de baterías de ion de Li en autobuses



# Pack de baterías de ion de Li para autobuses



# Estaciones de carga de vehículos eléctricos



# Situación de Contexto Internacional



## ¿ Que sucede con el Li actualmente ?

Por cada dólar de mineral extraído los argentinos estamos pagando cien dólares en las baterías, siendo los terceros productores mundiales y contando con ciento cincuenta científicos expertos en litio.

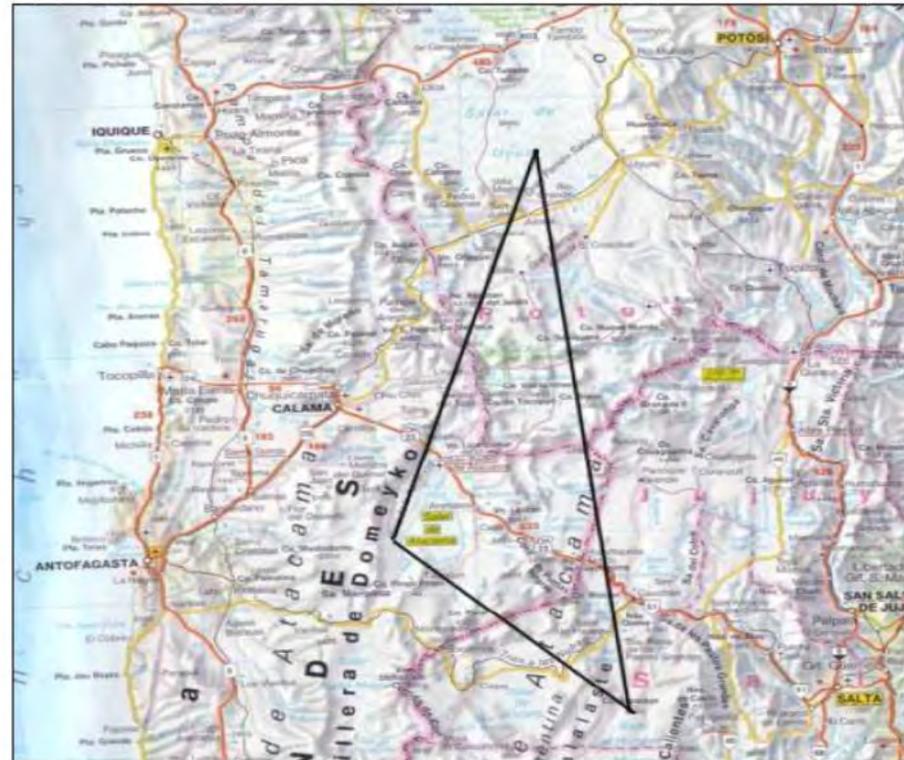
¿ No se puede hacer nada para solucionar este desequilibrio ?



# El Triángulo del Litio (Li)



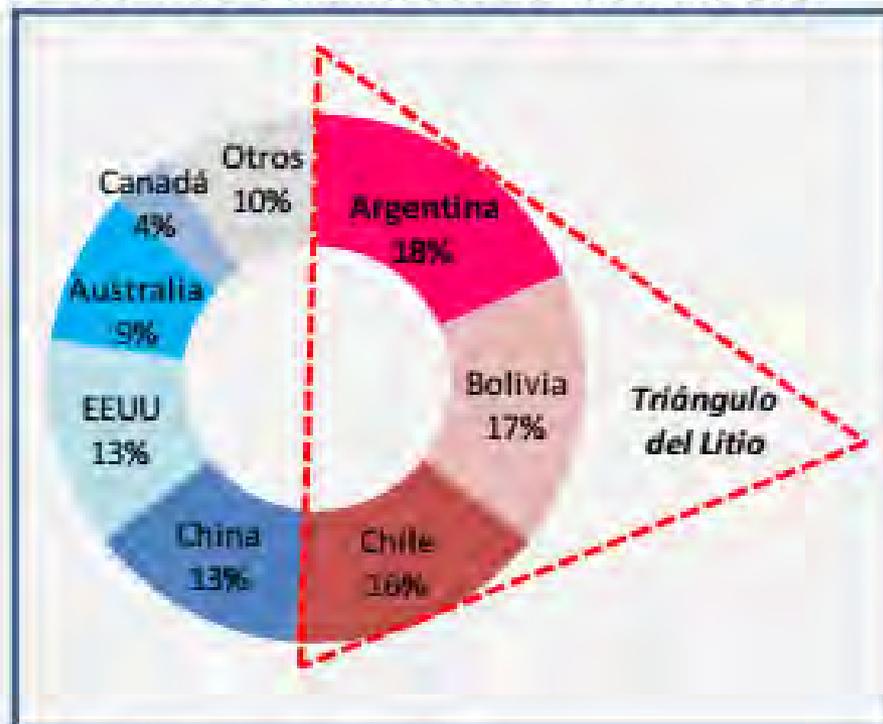
Figura 3. El "triángulo del Litio".



Fuente: Tabil (2008)

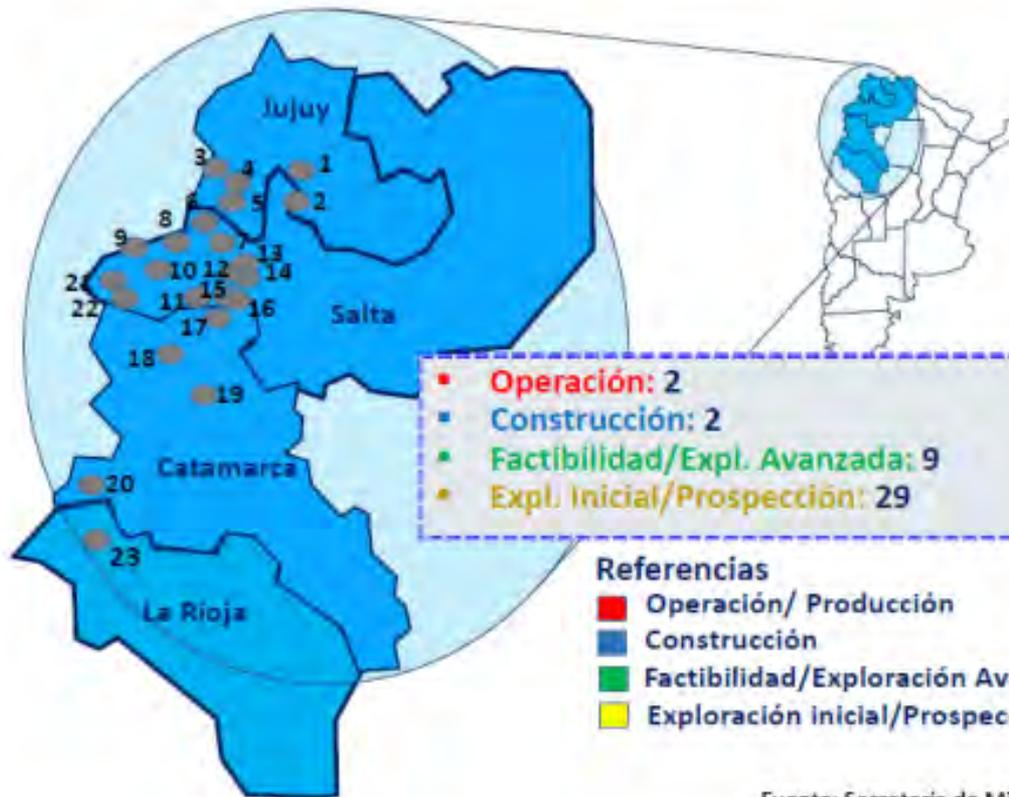
# Producción Porcentual

**Gráfico 2. Distribución territorial de los recursos identificados de litio. Año 2017**



Fuente: SSPMicro con base en USGS

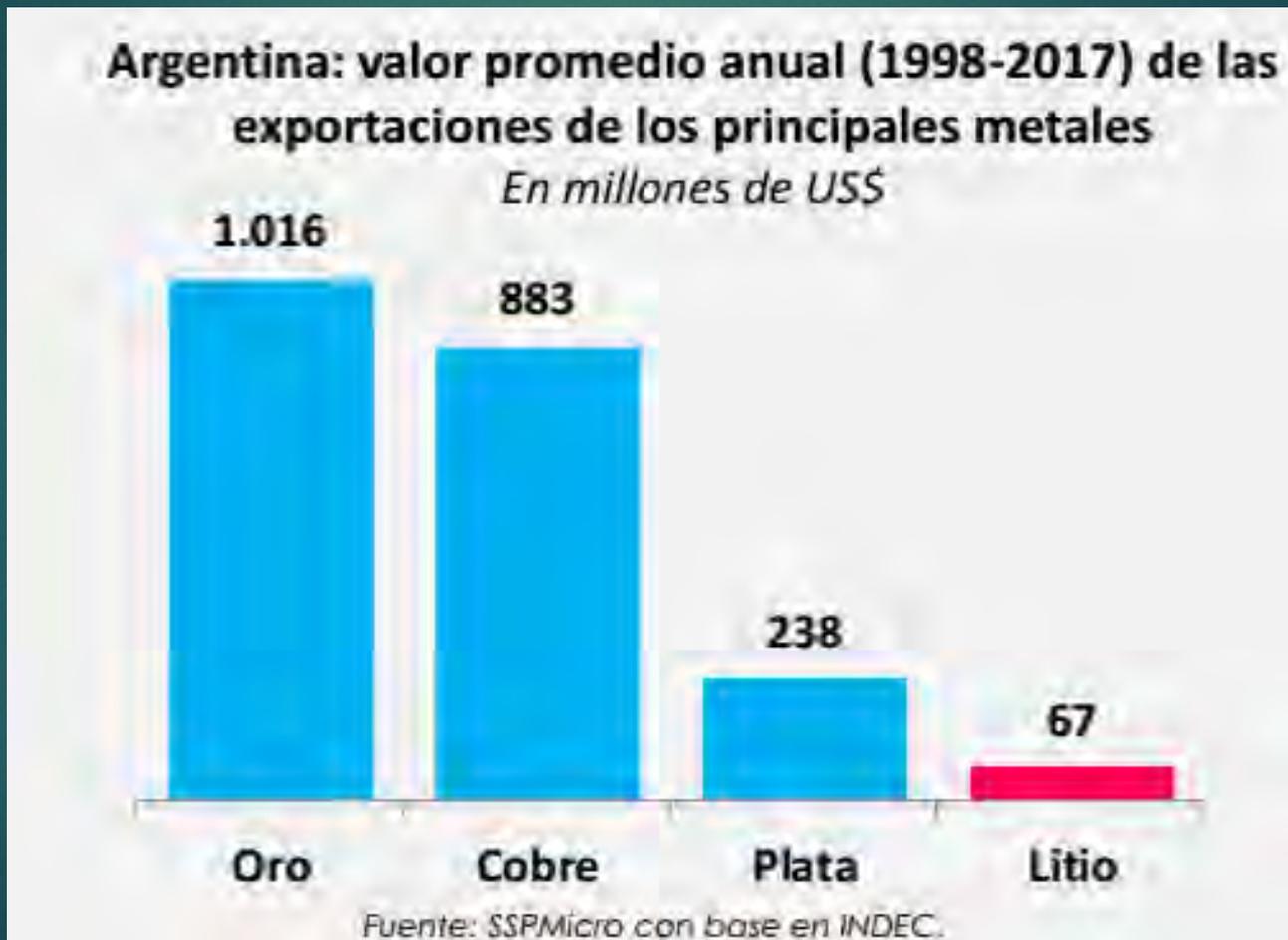
# Zonas Productoras en Argentina



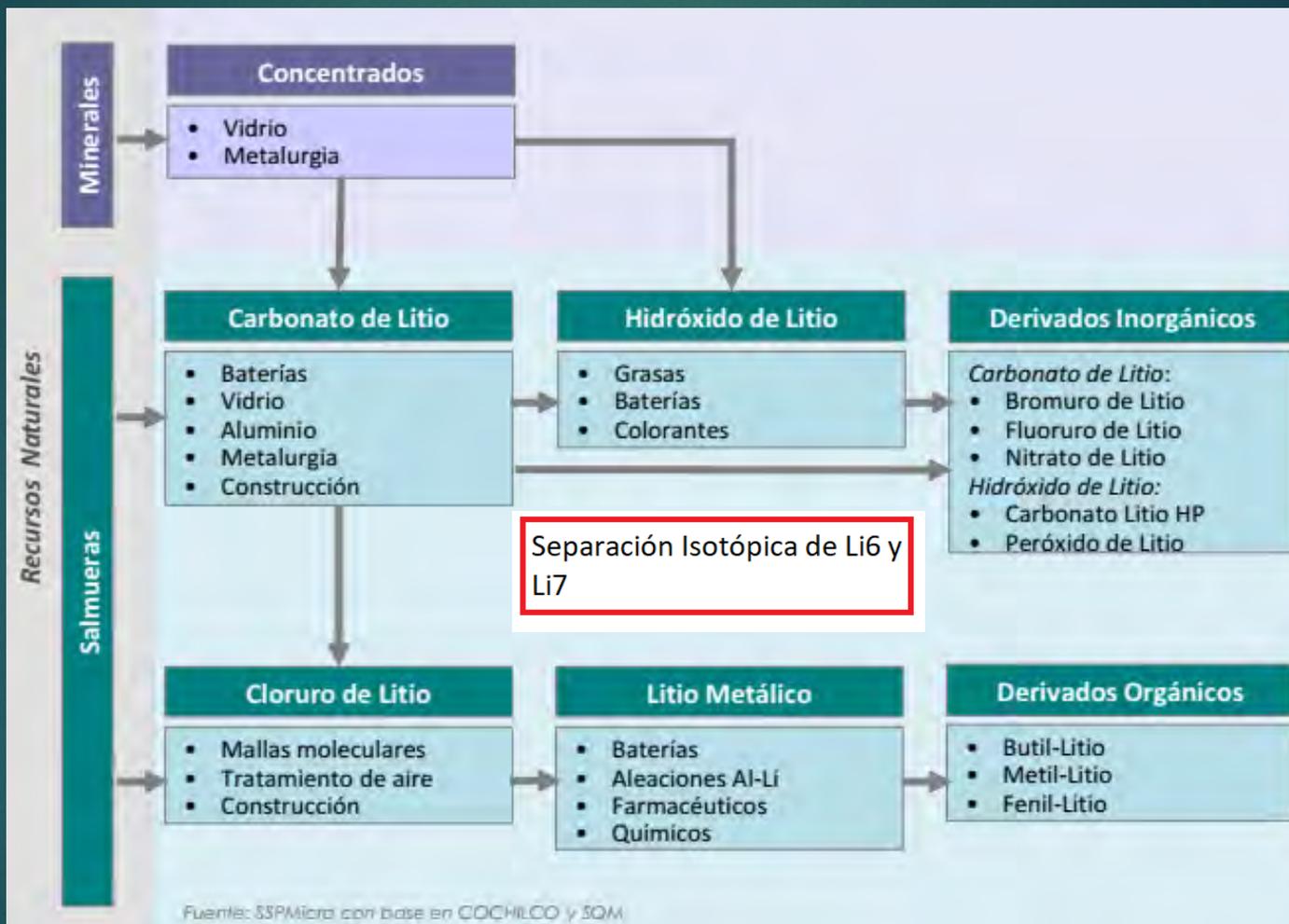
Fuente: Secretaría de Minería

		Cantidad de proy. s/estado			
1	Laguna Guayatayoc				1
2	Salinas Grandes				6
3	Salar de Jama				1
4	Salar de Olaroz	1			
5	Salar de Cauchari		1	1	1
6	Salar del Rincón		1		3
7	Salar de Pocitos				3
8	Salar de Icahuasi				1
9	Salar de Pular				1
10	Salar de Arizaro				5
11	Salar Tolillar				1
12	Salar de Pozuelos				1
13	Salar de Pastos Grandes				2
14	Salar Centenario			1	
15	Salar de Ratonés			1	
16	Salar de Diabillos			1	
17	Salar del Hombre Muerto	1		2	
18	Salar de Antofalla			1	
19	Salar Carachi-Pampa				1
20	Laguna Tres Quebradas			1	
21	Salar Ullallaco			1	
22	Salar Río Grande				3
23	Laguna Mulás Muertas				2

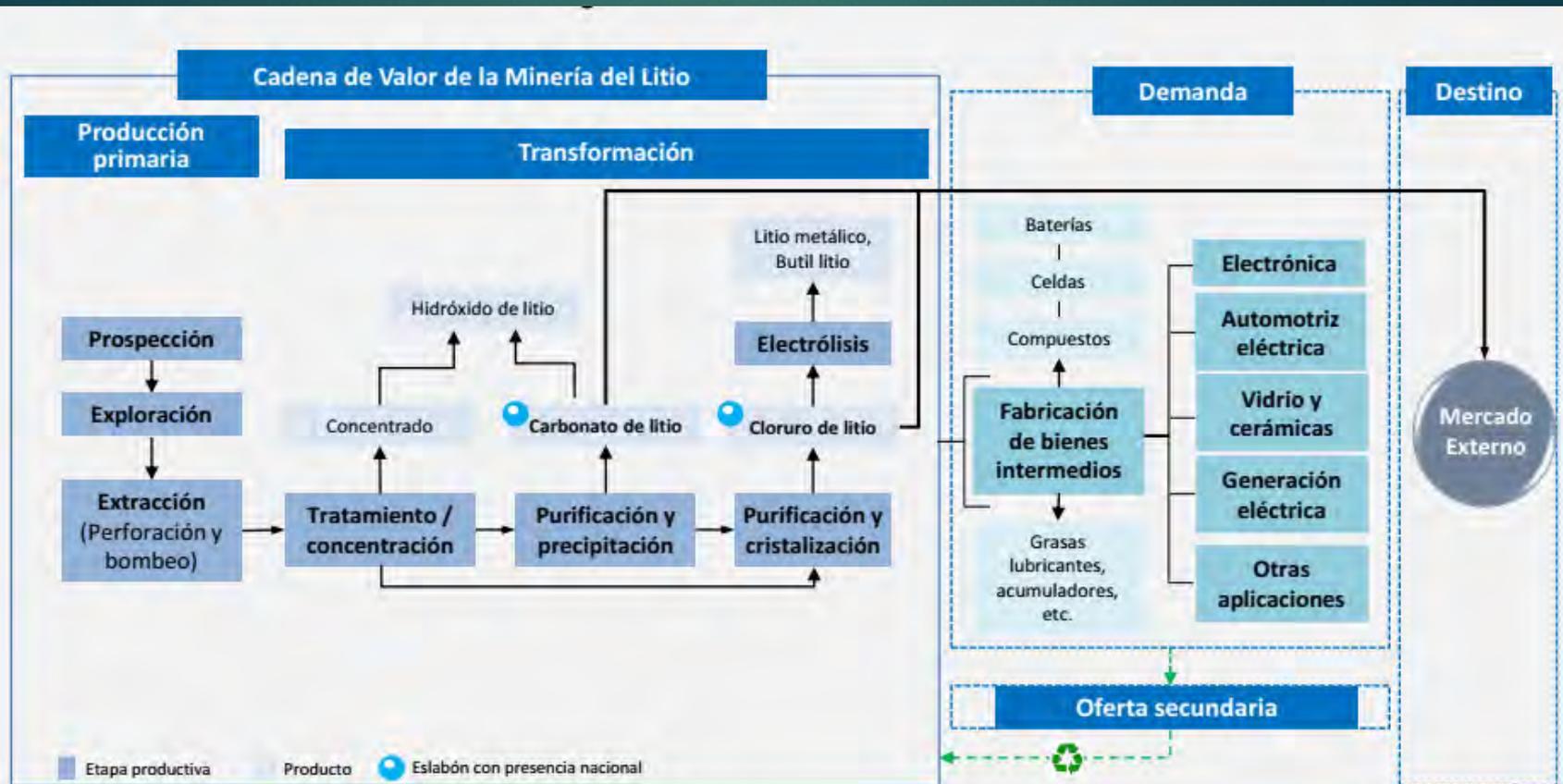
# Exportaciones de los Principales Metales



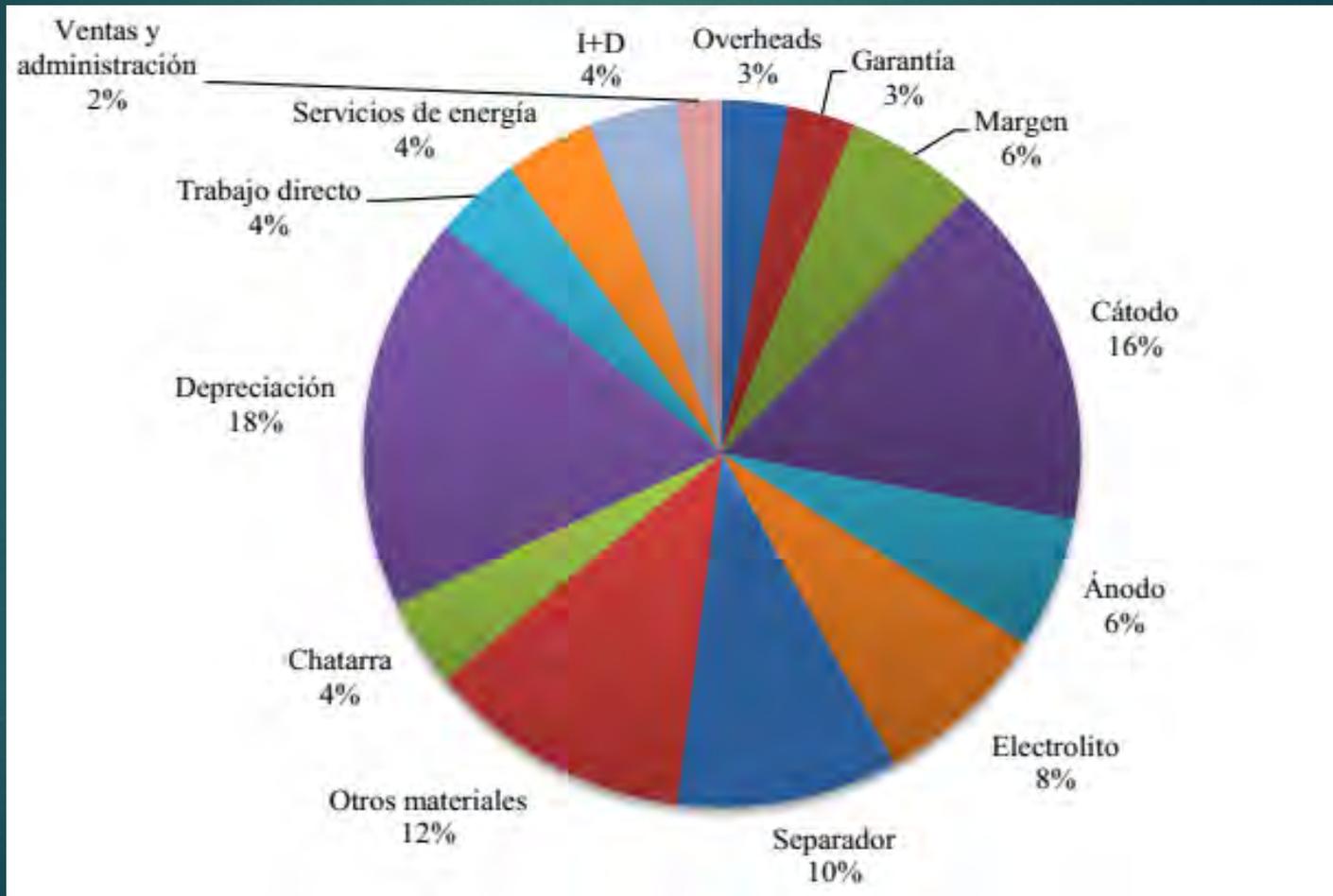
# Usos y Aplicaciones del Li



# Cadena de valor del Li actual

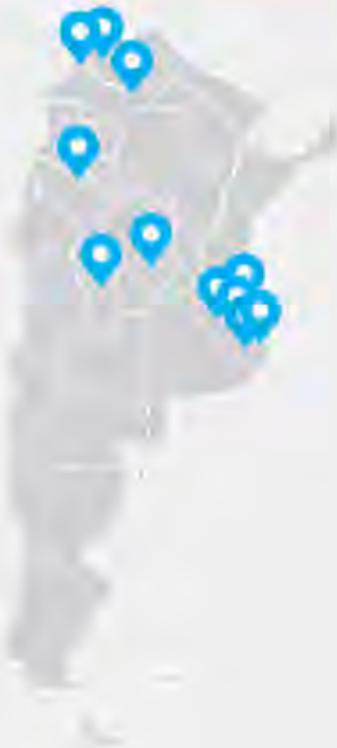


# Estructura de Costos para Producir Baterías de Li.





## Red científico tecnológica en geología y aplicaciones de Li



- **SEGEMAR** (Servicio Geológico Minero Argentino). WEB: <http://www.segemar.gov.ar/>. Parque Tecnológico Miguelete.
- **INQUIMAE** (Instituto de Química, Física de los Materiales, Medio Ambiente y Energía). Universidad de Buenos Aires. CONICET.
- **INIFTA** (Instituto de Investigaciones Físico Químicas Teóricas y Aplicadas). Fac. de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de La Plata. CONICET.
- **CIDMEJu** (Centro de Investigación y Desarrollo de Materiales Avanzados y Almacenamiento de Energía de Jujuy). Universidad Nacional de Jujuy. CONICET.
- **Laboratorio de Energías Sustentables** (Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales) Universidad Nacional de Córdoba. CONICET.
- **INTEQUI** (Instituto de Investigaciones en Tecnologías Químicas). Universidad Nacional de San Luis. CONICET
- **INECOA** (Instituto de Ecoregiones Andinas) Universidad Nacional de Jujuy. CONICET.
- **Laboratorio de Metalurgia Extractiva y Síntesis de Materiales**. Fac. de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de Cuyo.
- **INTI**. Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Centro de Procesos Superficiales. Parque Tecnológico Miguelete.
- **INENCO** (Instituto Investigaciones en Energías No Convencionales). Universidad Nacional de Salta. CONICET.
- **CNEA** (Comisión Nacional de Energía Atómica) Instituto Balseiro.

# Que sucede en Chile y Bolivia

Han adquirido conciencia de la situación, y con muchísimos menos recursos propios están tomando la delantera, tanto en la legislación como en las acciones para darle valor agregado al mineral de Li.

# Por ejemplo Chile

Se reservó el Litio para el Estado por interés nacional (Decreto Ley N°2886 de 1979, y se mantuvo en Ley N°18.097 de 1983).

Sistema concursal. Contratos especiales de operación contemplados en la Constitución Política de la República. Se licita a empresas privadas explotación

Fuente: Subsecretaría de Desarrollo Minero, Secretaría de Política Minera, Ministerio de Producción y Trabajo, Presidencia de la Nación.

# Producción Comparativa de los Primeros Tres Productores Mundiales

EVOLUCIÓN 2016-2017-2018 - Capacidad Máxima Instalada en Proyectos en Producción\* de 3 principales productores mundiales (t LCE/año)



\*Incluye proyectos con anuncios de inicio de producción 2018

Fuente: Elaboración propia en base a reportes de compañías operadoras y a USGS

# Evolución de la Oferta y Demanda

**Gráfico 11. Evolución estimada de la oferta y demanda mundial de litio**  
En miles de toneladas LCE

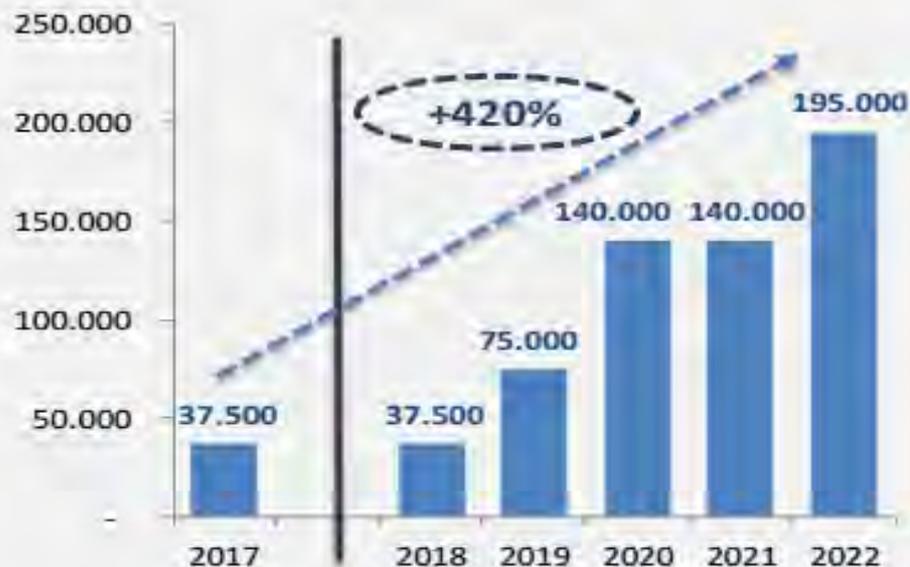


Nota: no incluye el reciente acuerdo de SQM para la ampliación de sus operaciones en el Salar de Atacama (Chile)

Fuente: Deutsche Bank

Se espera que para el año 2022 el superávit afecte los precios internacionales del mineral.

# Proyección de producción de Li



*Nota: se consideraron las expansiones de Fénix (FMC) y Olaroz (Sales de Jujuy), y la puesta en producción de Caucharí-Olaroz (Exar), Rincón (Enirgi) y Ratones-Centenario (Eramet).*

*La expansión de la capacidad instalada no implica un incremento inmediato de la producción, debido a los tiempos que demanda la evaporación inicial.*

Fuente: SSPMicra con base en Secretaría de Minería, SEGEMAR-USGS y datos de las empresas.

# Exportaciones

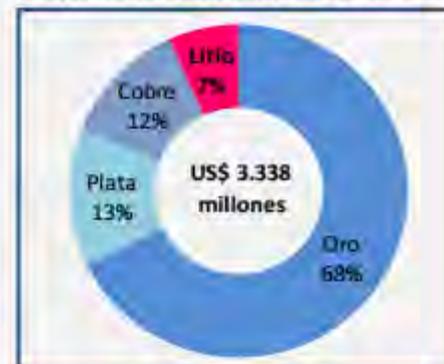
**Gráfico 6. Evolución de las exportaciones argentinas de Litio**  
En millones de dólares FOB



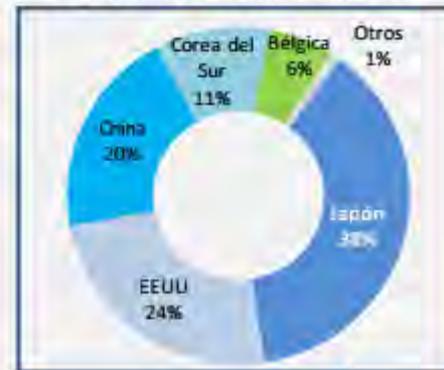
Fuente: SSPMicro con base en INDEC

- El litio aportó, en 2017, el 7% de las exportaciones metalíferas (oro, 68%; cobre, 12%; y plata, 13%).
- El último año, las ventas externas de litio aumentaron 17% respecto de 2016, debido al efecto combinado de la suba de los volúmenes, un alza de los precios internacionales y el avance hacia la elaboración de un bien de mayor pureza.
- Desde que comenzó la explotación en salares en 1998, el valor de los envíos creció 903%.
- El precio implícito de las exportaciones de carbonato litio en 2017 superó los 7.500 US\$/ton (62% por encima de 2015).

**Gráfico 7. Participación del litio en las exportaciones metalíferas. Año 2017**



**Gráfico 8. Destino de las exportaciones de litio. Año 2017**



# Inversiones Estimadas



# Una Planta para Producir Baterías de Litio con Transferencia del Know How

- ▶ Costo estimado de una planta de producción de baterías en condiciones de ser comercializadas:

**100 Millones de Euros.**

- ▶ Tiempo estimado de puesta en producción:

**5 meses.**

# Potencial Utilidad de las Tecnologías de Litio en Argentina

Purificación del Carbonato de Litio

Producción de Litio metálico

Almacenamiento de Hidrógeno

Producción de baterías comerciales de ion-Litio y de futuro: Litio azufre y litio aire

Reciclado de Baterías de Li

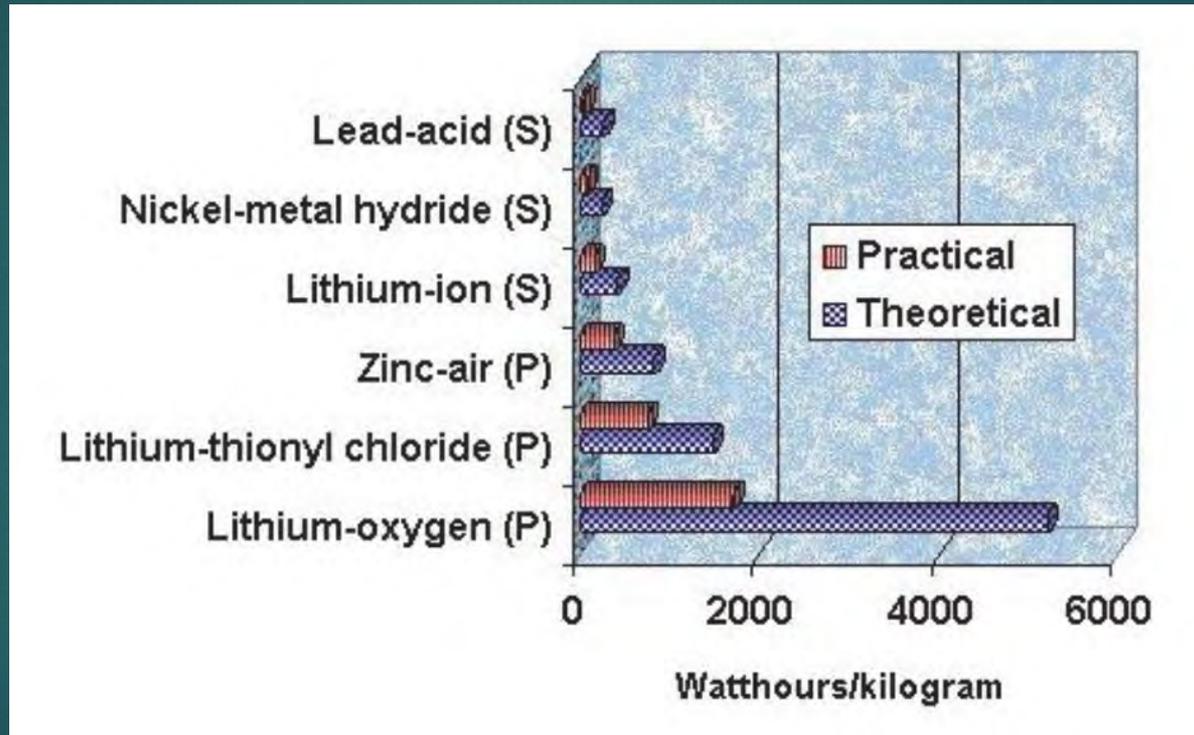
# Que se busca en los materiales para baterías

- ▶ Elevada capacidad para almacenamiento de energía eléctrica.
- ▶ Que admita una gran cantidad de ciclos de carga-descarga antes de agotarse como tal.
- ▶ Que su producción sea de bajo costo, es decir su síntesis química debe ser económica.
- ▶ Que sea liviano.
- ▶ Que sean materiales abundantes.
- ▶ Medioambientalmente amigables.

# Preguntas aun sin responder con respecto a las baterías:

- ▶ El Li con que otros materiales se puede emplear para optimizar su rendimiento actual en las baterías.
- ▶ Baterías de gel polímero compuesto?
- ▶ Baterías de azufre líquido ?

# Persistencia del uso del Li en acumuladores en investigación



S: 2 e<sup>-</sup> - Supplhur

Electrode potential (V)

-3.045	$\text{Li}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Li}$	Li
-2.9	$6\text{C} + x\text{Li}^+ + xe^- \rightleftharpoons \text{C}_6\text{Li}_x$	$\text{C}_6\text{Li}_x$
-2.714	$\text{Na}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Na}$	Na
-2.363	$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mg}$	Mg
-1.968	$\text{Be}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Be}$	Be
-1.68	$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Al}$	Al
-1.22	$\text{ZnO}_2^- + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Zn}$	Zn
-0.828	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{OH}^- + \text{H}_2$	$2\text{OH}^- + \text{H}_2$
-0.825	$\text{Cd(OH)}_2^- + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cd}$	Cd
-0.763	$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Zn}$	Zn
-0.447	$\text{S} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{S}^{2-}$	$\text{S}^{2-}$
-0.355	$\text{PbSO}_4 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pb}$	Pb
0	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2$	$\text{H}_2$
0.337	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cu}$	Cu
0.480	$\text{NiOOH} + \text{H}_2\text{O} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ni(OH)}_2 + \text{OH}^-$	$\text{Ni(OH)}_2 + \text{OH}^-$
0.536	$\text{I}_2 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{I}^-$	$2\text{I}^-$
0.8	$\text{Li}_{1-x}\text{NiO}_2 + x\text{Li}^+ + xe^- \rightleftharpoons \text{LiNiO}_2$	$\text{LiNiO}_2$
0.9	$\text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2 + x\text{Li}^+ + xe^- \rightleftharpoons \text{LiCoO}_2$	$\text{LiCoO}_2$
1.0	$\text{Li}_{1-x}\text{Mn}_2\text{O}_4 + x\text{Li}^+ + xe^- \rightleftharpoons \text{LiMn}_2\text{O}_4$	$\text{LiMn}_2\text{O}_4$
1.065	$\text{Br}_2 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{Br}^-$	$2\text{Br}^-$
1.23	$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	$2\text{H}_2\text{O}$
1.36	$\text{Cl}_2 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{Cl}^-$	$2\text{Cl}^-$
1.685	$\text{PbO}_2 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{PbSO}_4$	$\text{PbSO}_4$
2.87	$\text{F}_2 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{F}^-$	$2\text{F}^-$

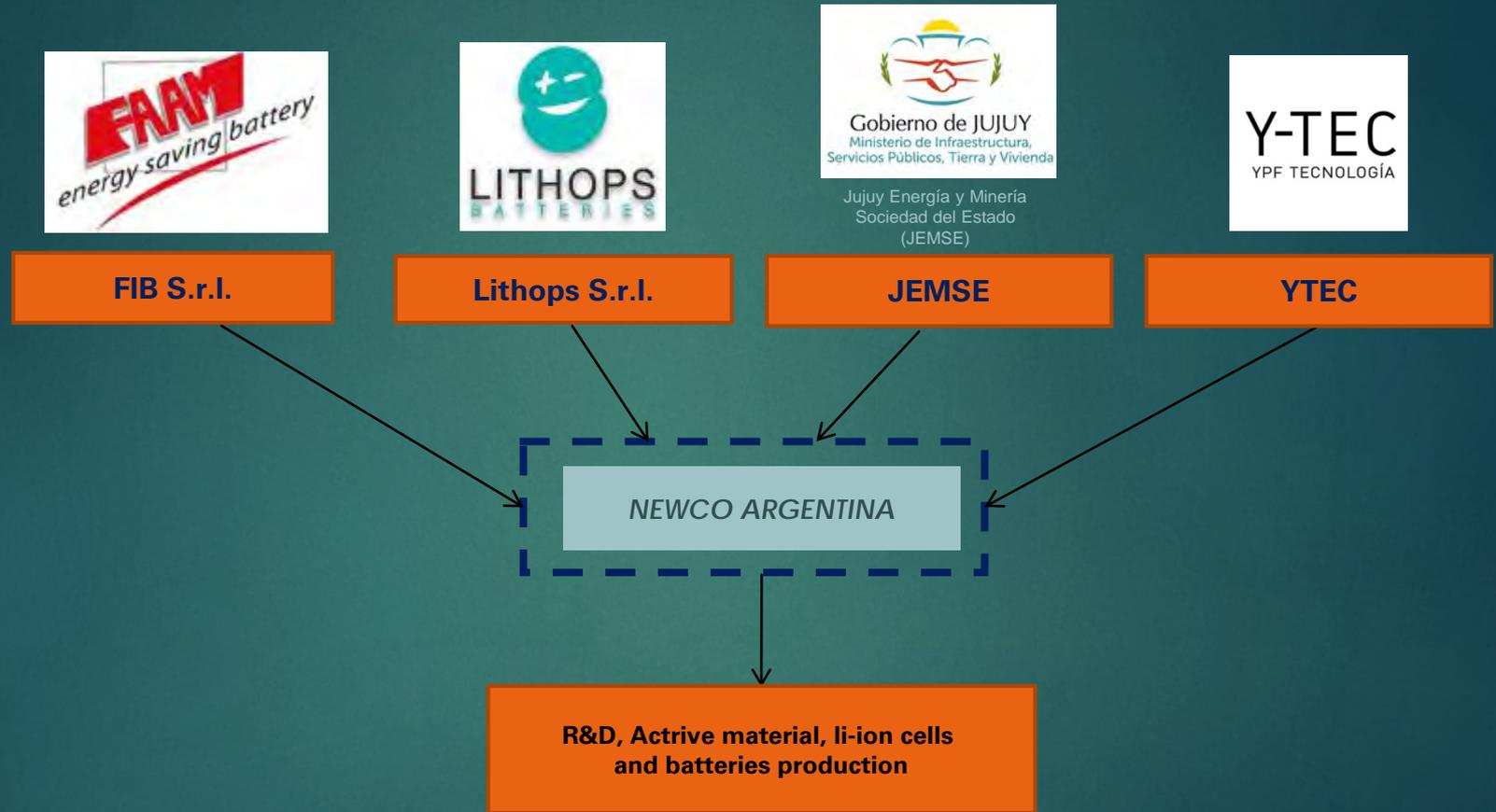
Ni-MH Battery

Lithium-Ion Battery

Lithium - oxygen

# The Argentinian Partnership

The access to Li-compounds in the Jujuy Province



- ❖ Lithops and YTEC will join as technological partners
- ❖ FIB, FAAM and Lithops are part of Seri Group



# Lo urgente



- Necesidad que el país defina una estrategia de trabajo donde el Litio sea una **FUNCION DE ESTADO**,
- Estudios económicos serios donde las tecnologías de litio encuentren nichos de colocación y sean más que un mineral de exportación

# Paradoja

La masificación de vehículos eléctricos requerirá de una cantidad nunca antes vista de poder de acumulación de energía.

Para ello la Argentina tendrá que destinar una gran parte de su producto bruto a la adquisición de baterías que se fabriquen en el extranjero con el Litio extraído de nuestra tierra.

# Propuesta

Generar una política de estado que produzca una verdadera revolución en la acumulación de energía que se puede producir en el país.

# Propuesta

Destinada a los siguientes ejes de acción:

- 1) Ser proveedores de baterías para el mercado local y regional
- 2) Establecer alianzas estratégicas con empresas automotrices europeas líderes.
- 3) Constituirse en el centro de reciclado de baterías de uso vehicular no solo en el país sino en toda Latinoamérica.
- 4) Considerar a la cadena del valor agregado del Li como un concepto integral de forma que sea una usina de recursos genuinos y no como una nueva Vaca Muerta.

# Resultados secundarios (pero no menos importantes)

- Dotar al país de una política de estado mas allá de los gobiernos de turno y de las coyunturas internacionales.
- Mejorar el geoposicionamiento de la Argentina, ubicándola no solo como un país productor de materias primas, sino capaz de desarrollar tecnologías en la frontera de la ciencia.
- Ampliar la capacidad de conocimientos técnico científicos en el campo de la producción de baterías.
- Mejora de la calidad de vida de los habitantes de la zona de influencia de los nuevos desarrollos.

# ¿ Como lograrlo ?

---

- Nuestro país es el tercer productor mundial del mineral.
- Argentina debe desarrollar una política que le permita ejercer un control activo de la producción de mineral de Li, incluso generando a nivel regional un equivalente a lo que en los años '60s fue la OPEP (OPELI)
- Contamos con destacados científicos y tecnólogos y con los mejores contactos a nivel internacional para estudiar todas las posibilidades que permitan darle valor agregado a la producción nacional de Li.
- El nivel de inversión es mucho menor y los tiempos para puesta en marcha de los proyectos con Li son mucho mas breves que los necesarios para cualquier emprendimiento hidrocarburífero.

# ¿ Como lograrlo ?

- Sin competir con los gigantes internacionales buscando los nichos productivos y tecnológicos en los que seamos mas aptos para posicionarnos.
- Asociándonos con los que pueden hacer transferencia de conocimiento para acortar los tiempos de puesta en marcha de los proyectos productivos.
- Trabajando coordinadamente con todas las áreas de los gobiernos nacional y provincial que tengan injerencia.
- Dandándonos de una vez por todas la oportunidad de salir de ser un país pobre a un país que puede tener un futuro prometedor.



**Muchas gracias**



*CONAE*

# Actividades Principales y Características Generales de la Misión SAOCOM

**Eduardo Sellés**

**Lic. en Cs. Físicas**

**Lic. en Sistemas Aeroespaciales**

**Miembro del Directorio de CONAE**

**Buenos Aires**

**13 de septiembre, 2019**

# ¿ Qué es la *CONAE* ?

Organismo del Estado Nacional con capacidad para actuar pública y privadamente, en los órdenes científico, técnico, industrial, comercial, administrativo y financiero, y con competencia para proponer las políticas para la promoción y ejecución de las actividades en el área espacial con fines pacíficos en todo el ámbito de la República Argentina.



# ¿ Qué es la *CONAE* ?

**Es la autoridad de aplicación de la inscripción de los objetos espaciales en Registro Nacional de Objetos Lanzados al Espacio Ultraterrestre**

**Decreto N° 125/95**



# ¿ Qué es la *CONAE* ?

**Es la responsable de encarar:**

- **Desarrollo de Medios de Acceso al Espacio**
- **y Servicios de Lanzamiento**

**Decretos N°995/91,  
convalidado por Ley N°11,678  
Decreto N° 176/97**



## SATÉLITES

## VEHÍCULOS LANZADORES Y SERVICIOS DE LANZAMIENTO



## EDUCACIÓN Y CAPACITACIÓN



## OPERACIÓN DE ESTACIONES TERRENAS DE RECEPCIÓN Y COMANDO DE SATÉLITES



## PROCESAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE INFORMACIÓN SATELITAL





# Centro Espacial T. Tabanera

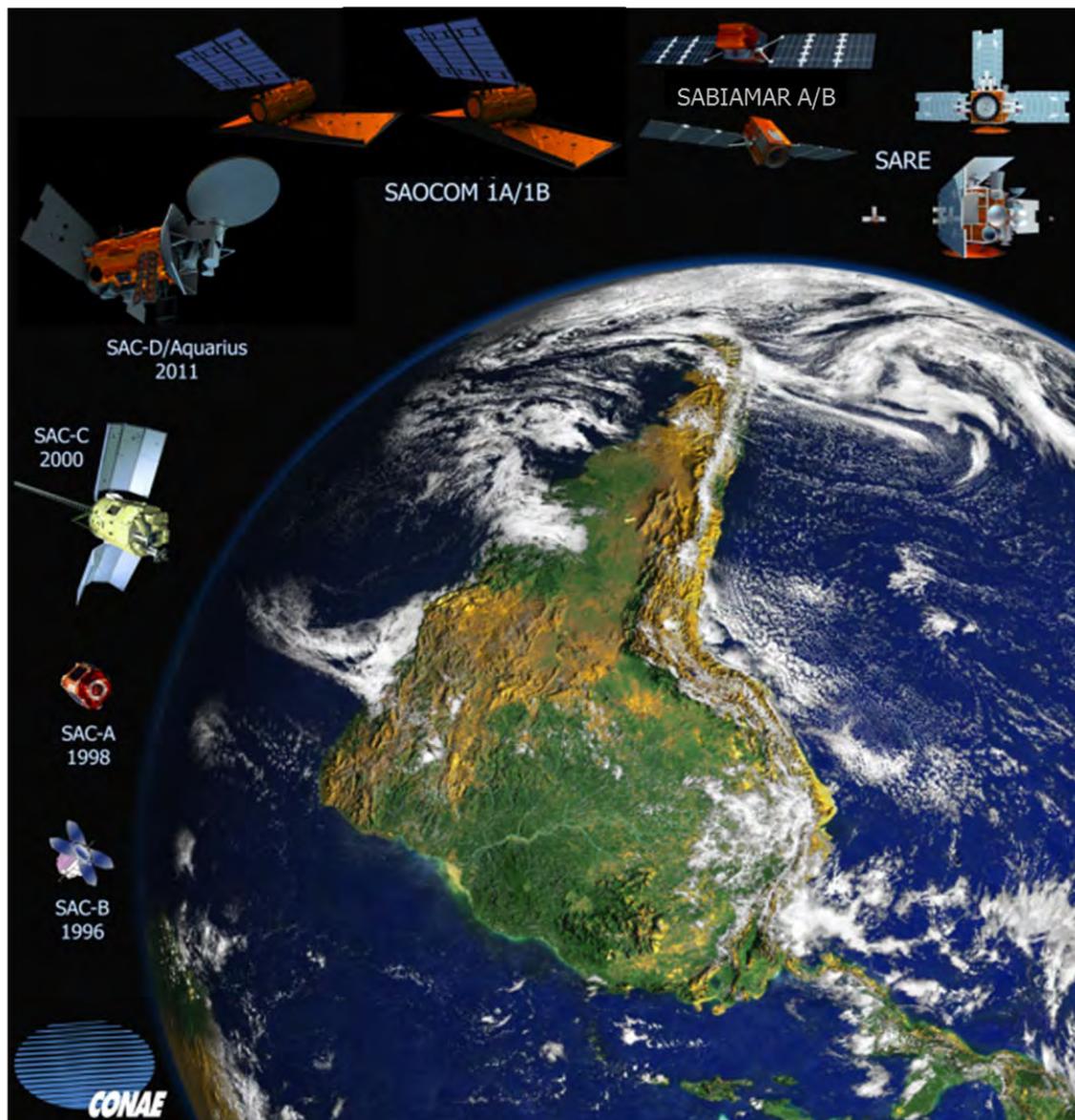


*Ensayo motor 10 toneladas - 2015*

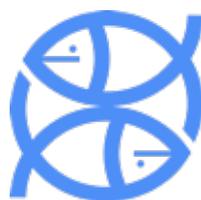




# CONAE en el Espacio



# Principales Usuarios



# Principales Usuarios



Mundo Sano

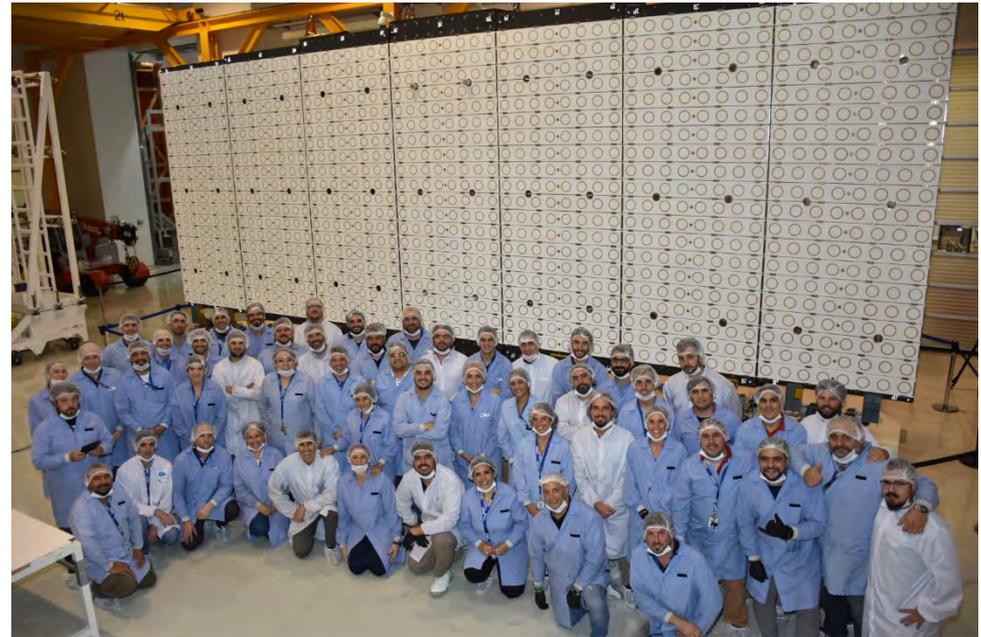


VIALIDAD NACIONAL





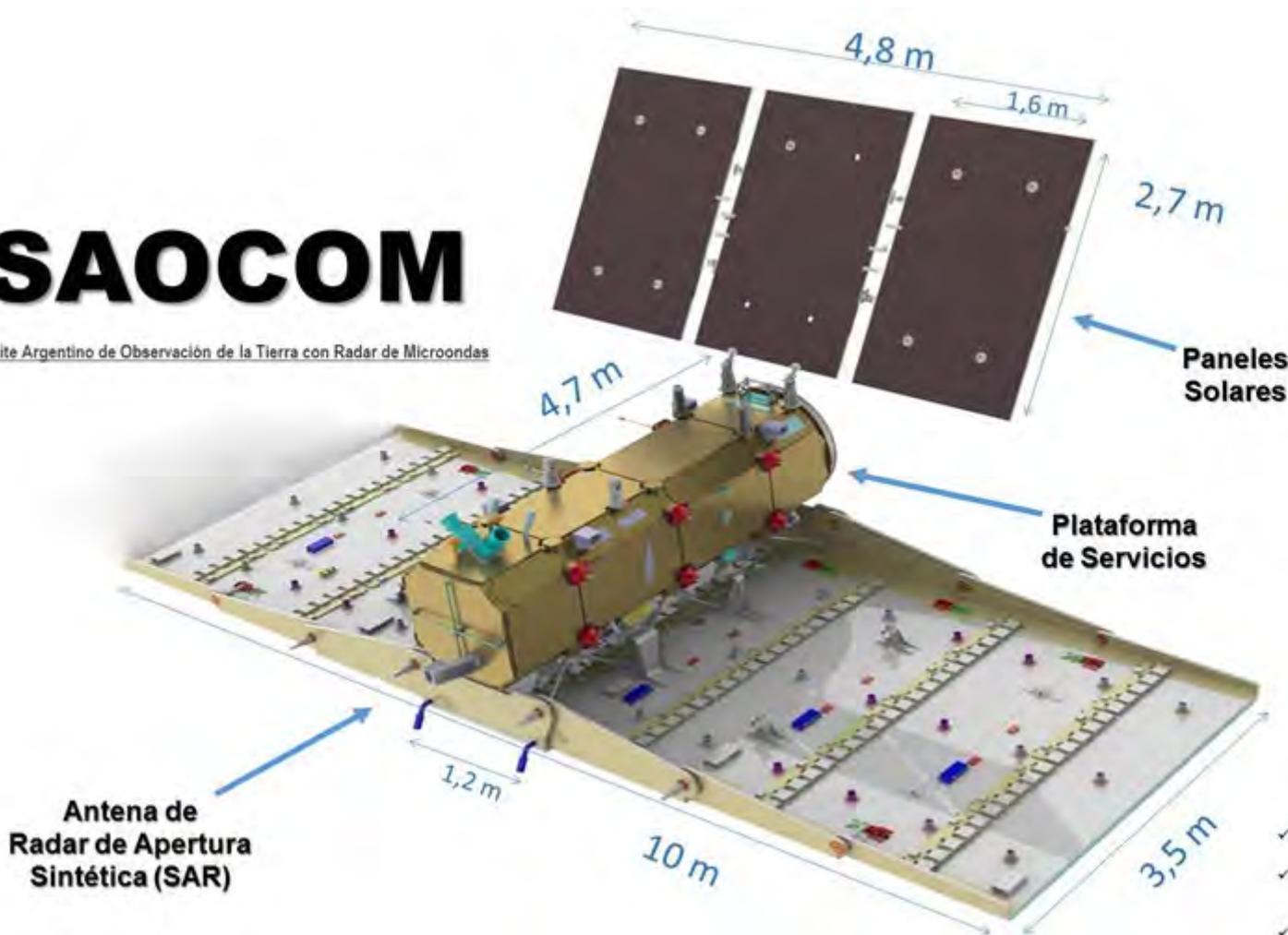
# Misión SAOCOM





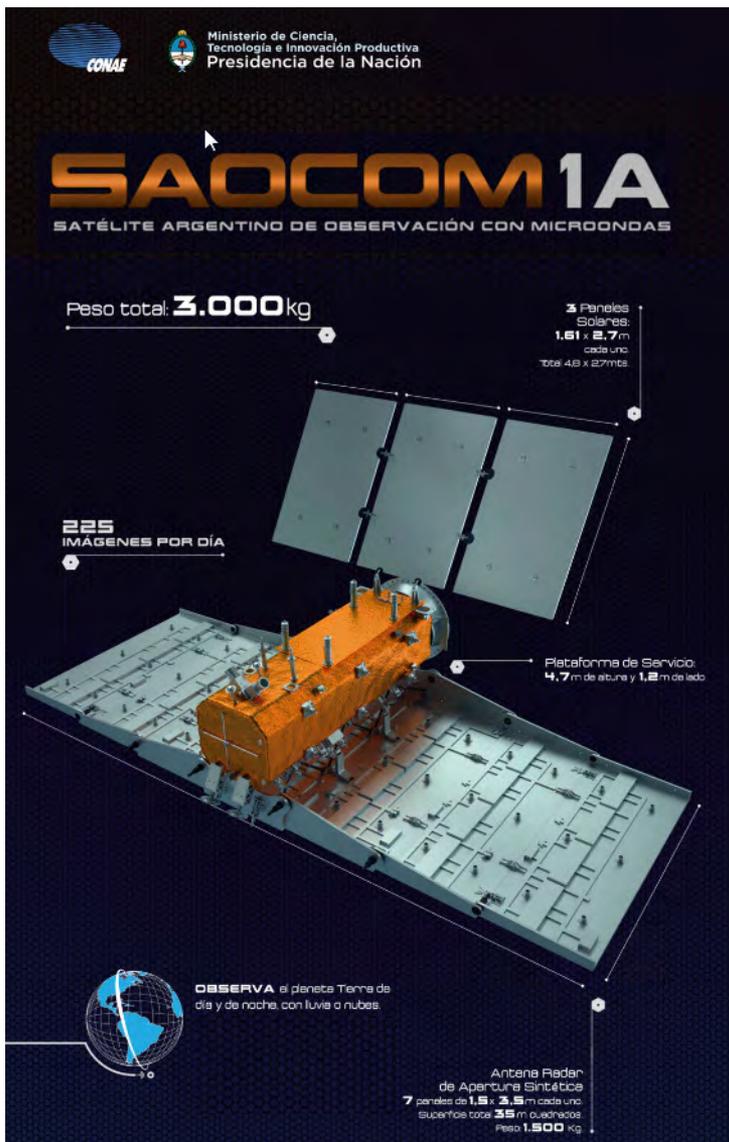
## SAOCOM

Satélite Argentino de Observación de la Tierra con Radar de Microondas



### Dimensiones del SAOCOM 1A:

- ✓ Peso: 3 toneladas.
- ✓ Plataforma de Servicios: 4,7 m de altura y 1,2 m de lado.
- ✓ Paneles Solares: 3 paneles. 1,61 m x 2,69 m cada uno.
- ✓ Antena SAR: 10 m de largo y 3.5 m de alto.



## Características Técnicas:

Instrumento	SAR banda L polarimétrico
Frecuencia central	1,275 GHz
Orientación de la observación	A derecha en forma de operación nominal (con capacidad de observar hacia la izquierda)
Resolución espacial	10 a 100 m (según el modo de adquisición)
Ancho de barrido	20 a 350 km (según el modo de adquisición)
Rango de ángulos de incidencia	20 a 50 grados (según el modo de adquisición)
Rango dinámico (coeficiente de retrodispersión radar)	-35 dB a 5 dB
Exactitud de posicionamiento geográfico (con compensación de efectos topográficos)	25 m (órbita precisa de 18 días) 70 m (órbita precisa de 48 horas) 90 m (órbita a bordo)
Exactitud radiométrica absoluta	0,5 dB
Exactitud polarimétrica	0,3 dB
Modos de adquisición	StripMap, TOPSAR Narrow, TOPSAR Wide
Modos de polarización	Simple, Doble, Cuádruple (completa), Compacta
Órbita	Heliosincrónica Altura 620 km Hora local nodo ascendente 6:12:15 am Revisita: 16 días (un solo satélite) 8 días (para la constelación)
Ciclo de repetición orbital	16 días para cada satélite 8 días para la constelación
Revisita promedio (sin restricción de modo ni orientación)	Mejor que 2 días



# Constelación SIASGE



# SIASGE

Sistema de satélites  
Ítalo-Argentino para  
beneficios Sociales,  
Gestión de emergencia y  
desarrollo Económico.

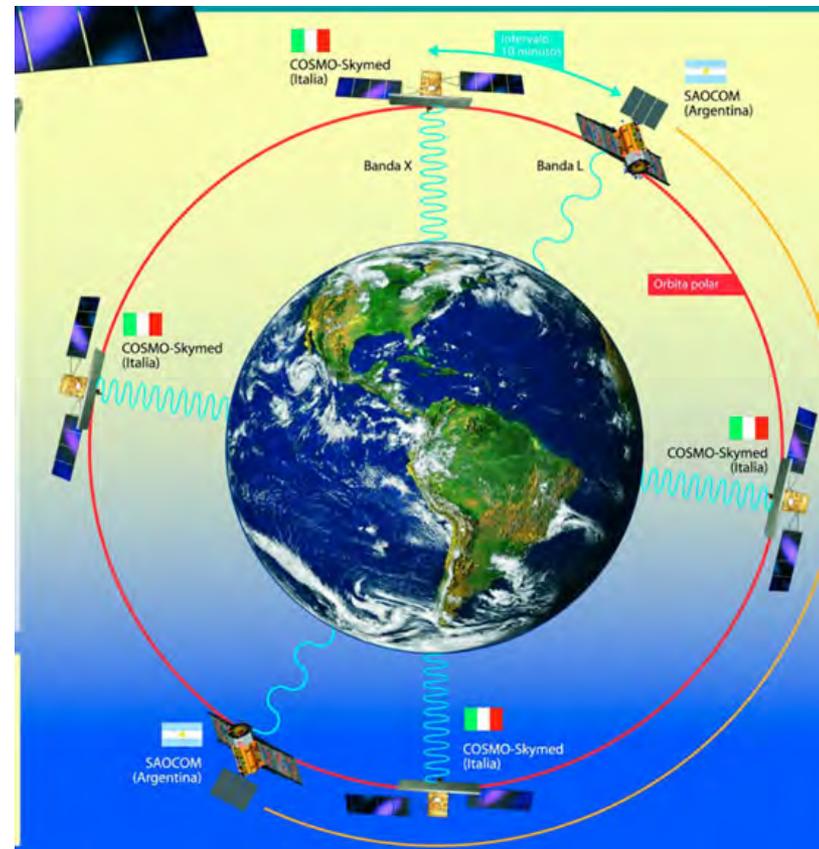





Comisión Nacional de Actividades Espaciales  
[www.conae.gov.ar](http://www.conae.gov.ar)




Agencia Espacial Italiana  
[www.asi.it](http://www.asi.it)





- Desde el Centro de Control de Misión, el Grupo de Operaciones se encarga de:
- monitorear el estado de salud del satélite,
  - traducir los pedidos de los usuarios en comandos,
  - subir los comandos de las actividades que la plataforma y el instrumento SAR deben realizar ,
  - la bajada de datos de ciencia con los que se producen las imágenes

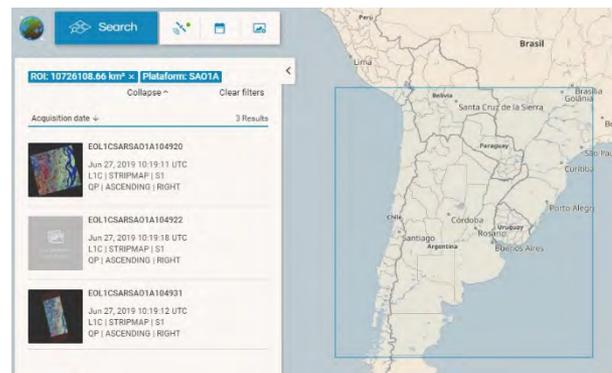


## ➤ SAOCOM 1A

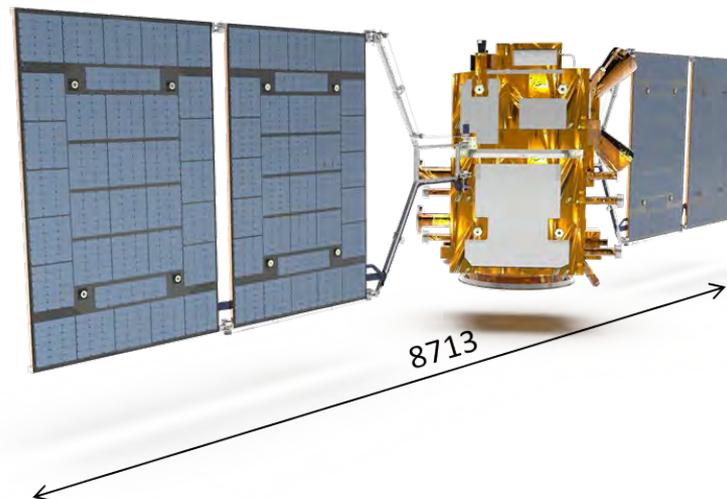
- ✓ Se está completando la etapa de calibración de los diferentes modos de funcionamiento del Instrumento SAR;
- ✓ Catálogo de Imágenes en prueba por beta testers

## ➤ SAOCOM 1B

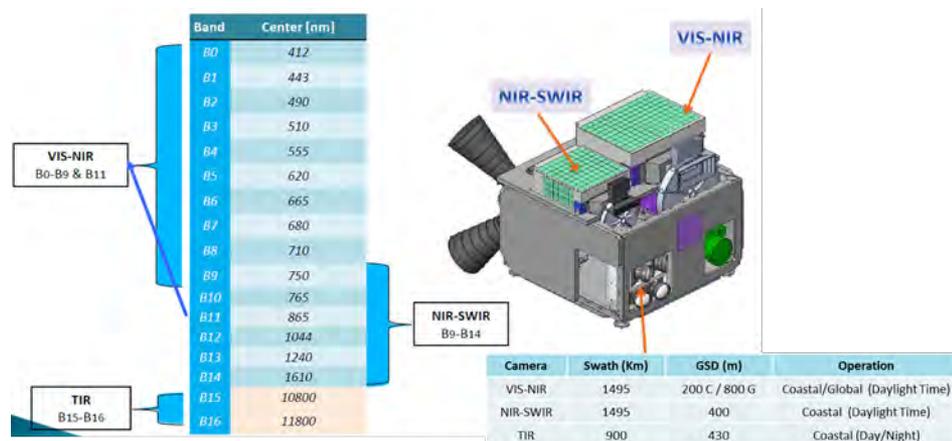
- ✓ Se completó la integración del satélite
- ✓ Inicio de campaña de ensayos
- ✓ Lanzamiento: primer bimestre 2020



- El principal objetivo de la misión es el **estudio de la biosfera costera y oceánica**
- Aplicabilidad directa al proyecto “Pampa Azul”
- Contribución al manejo racional de los recursos pesqueros y estudio del cambio climático global.
- Lanzamiento previsto para fines de 2023



Masa: < 650 kg BOL  
Potencia Promedio Orbital: > 660 W EOL  
Vida Util: 5 años





**Muchas gracias por su atención**



# Panel

**UTN FR GENERAL PACHECO**  
**2º CONGRESO DE TRANSPORTE**  
**Y SUS TECNOLOGIAS ASOCIADAS**

**Miércoles 11 de Septiembre de 2019 -16:30 hs**

**PANEL**

**TRANSPORTE MARÍTIMO INTERNACIONAL**  
**El Atlántico Sur y los intereses Marítimos**  
**Argentinos**

Argentina, casi una península enclavada en el extremo del Atlántico SUR, posee espacios marítimos jurisdiccionales 3 veces superiores a la superficie continental. Con una superficie continental de casi 3 millones km<sup>2</sup> es el octavo país del mundo en extensión territorial.

Este extenso espacio continental y nuestros mares jurisdiccionales superan los 10 millones de km<sup>2</sup> , y contienen enormes recursos naturales cuyo uso y preservación deben ser atendidos como una cuestión de estado, creando conciencia que habitamos un país marítimo que requiere incrementar las actividades de uso y preservación del patrimonio heredado.

Con esta visión se realizó esta mesa redonda que contó con la participación de cuatro especialistas en actividad marítima, cuya primera presentación fue:

***“EVOLUCIÓN DE LA INDUSTRIA NAVAL EN LA REPÚBLICA ARGENTINA”***

A cargo del Lic. Francisco Galia , Director de Proyectos especiales del Rectorado de la UTN, representante por la UTN ante el programa Pampa Azul. Es Contralmirante retirado , Veterano de Guerra de Malvinas , de la Armada Argentina.

En su exposición realizó un pormenorizado análisis de la evolución de la Industria Naval de la Argentina desde la época colonial hasta nuestros días, mostrando las oscilaciones producidas en término de capacidades de producción , innovación y adaptación al cambio tecnológico, y formación de especialistas.

Contrasta la visión estratégica enunciada en las conferencias del Alte Storni en 1916: ... ***“La Política Naval es, ante todo, una acción de gobierno; pero es indispensable, para que tenga nervio y continuidad, que sus objetivos arraiguen en la nación entera, que sean una idea clara, un convencimiento de las clases dirigentes, y una aspiración constante de todo el pueblo argentino”***... .Con un incierto estado de nuestra industria naval en el

presente que sin flota de bandera y con un vetusto equipamiento militar y de seguridad enfrenta una realidad internacional cada día de mayor complejidad.



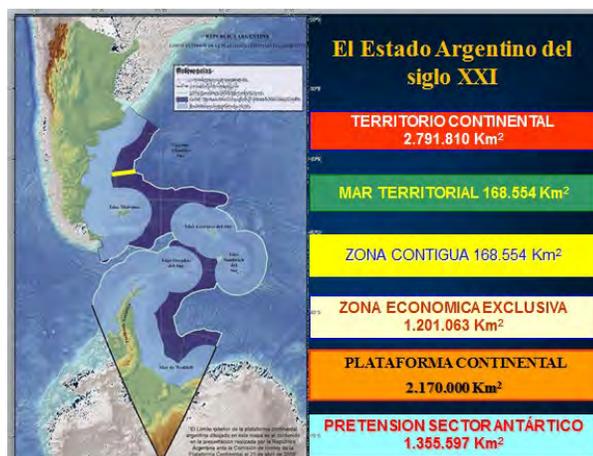
La segunda presentación fue titulada

**“INTERESES MARÍTIMOS ARGENTINOS “**

A cargo de Dr. Horacio Terribile, Doctor en Relaciones internacionales de la UN Rosario, Director de la carrera de Intereses Marítimos en la Escuela de Guerra Naval . Capitán de Navío ( R ) de la Armada Argentina con una extensa carrera en el comando de las actividades de defensa de la República Argentina.

Esta segunda conferencia plantea una mirada diferente sobre la ubicación de Argentina en un planeta con el 70 % de su superficie cubierta por mares.

Argentina a los casi 3 millones de km<sup>2</sup> de extensión continental, sumando la porción reclamada en el continente Antártico y los mares jurisdiccionales alcanza los 10,5 millones de km<sup>2</sup>. En ese contexto el trabajo de delimitación y declaración de soberanía del Mar Jurisdiccional Argentino realizado por COPLA y presentado ante la CONVEMAR constituye un de las pocas políticas de estado desarrollada por Argentina en los últimos décadas.



El Dr Terribile basado en la idea de que al mar no se lo posee , la máxima aspiración es controlarlo, planteo que solo mediante el conocimiento, la explotación y la protección será posible ejercer la soberanía sobre el enorme patrimonio heredado..



La tercera exposición llevó por título

***“LA ACTIVIDAD MARÍTIMA EN EL OFFSHORE DE TIERRA DEL FUEGO”***

A cargo del Capitán Guillermo Campos experimentado Capitán de Ultramar , responsable de logística off-shore en TOTAL AUSTRAL

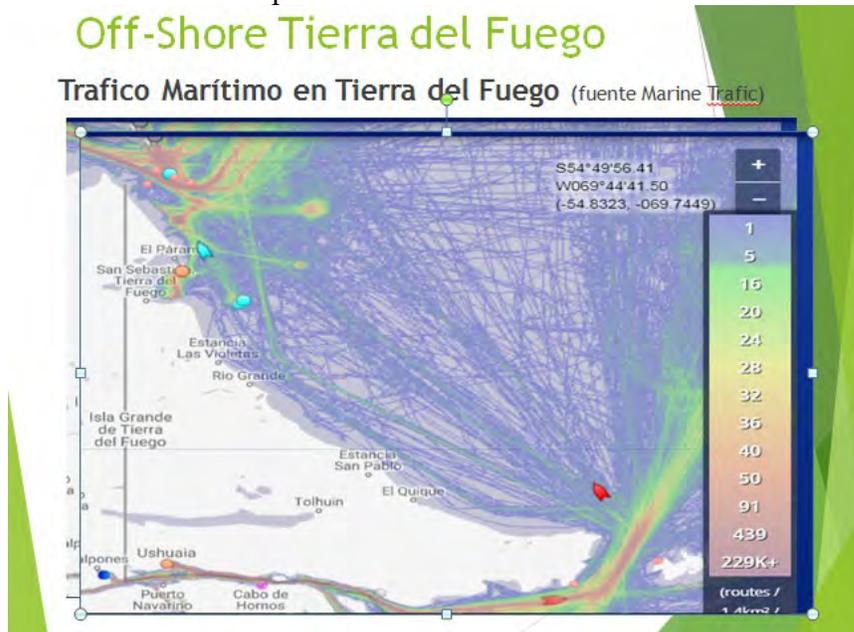
El Capitán Campos comenzó describiendo las únicas dos áreas petroleras costa afuera en explotación , ubicadas una al este del Estrecho de Magallanes, con seis plataformas y la otra al este del norte de Tierra del Fuego con 5 Plataformas . Dichas plataformas extraen Petróleo y gas natural, lo transporta a la costa donde el gas luego de ser acondicionado es inyectada a la red de gasoductos y el petróleo es embarcado en buque petroleros.

Considerando que la única actividad pesquera en la zona se realiza en el Canal de Beagle , constituye otra muestra del desaprovechamiento de nuestro extenso mar territorial .



En la presentación destacó la intensa actividad que genera cada plataforma instalada , no solo operando en áreas fuera de las tradicionales vías marítimas , sino en la necesidad de contar con buques de apoyo, helicópteros, puerto de abastecimiento y requerimientos de recursos humanos especializados tanto en la construcción como en la operación.

## Off-Shore Tierra del Fuego

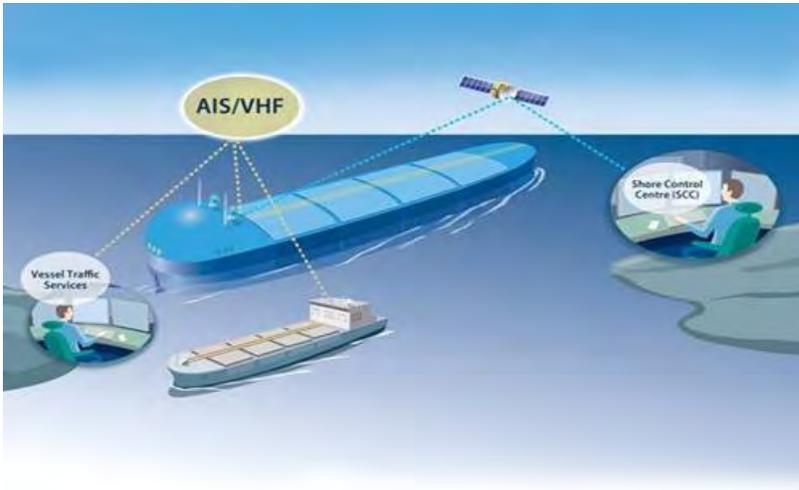


La última exposición llevó por título

### ***“EL FUTURO DEL MAR . BUQUES NO TRIPULADOS***

**A cargo del Lic. Edmundo Vives ,** Lic. Edmundo Vives , es Profesor en Ingeniería Pesquera en Ushuaia, UTN FR Río Grande,. es Licenciado en Sistemas Navales y Magister en Defensa Nacional . Ejerció el comando de buques y del Comando Conjunto Antártico, es Capitán de Navío ( R ) de la Armada Argentina

El expositor explicó las características y función de la OMI Organización Marítima Internacional y su rol en la elaboración del marco normativo del tránsito internacional de buques.



Los denominados MASS (**Maritime Autonomous Surface Ships**) buques autónomos que hoy existen en forma de prototipo operativo, y podrían técnicamente estar en condiciones de operación, carecen de un marco legal específicos. Luego de una pormenorizada revisión del proceso que está llevando la OMI con el fin de establecer un marco adecuado el expositor realizo la siguiente reflexión.

**Abre a la comunidad universitaria una nueva área de conocimiento a ser incluida dentro de sus claustros académicos, acompañando la aplicación de las tecnologías de punta a las operaciones marítimas *La pregunta no es saber es si llegarán, sino cuándo y como llegarán!!!***

Al finalizar el moderador: Ing. Hugo Carranza dio lugar a un intercambio interesante de preguntas y respuesta de los expositores.

## CONCLUSIONES

A través de las explicaciones de los cuatro excelentes expositores y el intercambio de preguntas del auditorios se puso en evidencia el desinterés de la sociedad Argentina al frente al enorme recurso marítimo. Quizás sea la academia lugar adecuado para crear una conciencia marítima que permita el desarrollo de actividades.

Solo cabe recordar ese viejo refrán de origen náutico:

**NUNCA SOPLAN BUENOS VIENTOS PARA EL QUE NO SABE ADÓNDE VA.**