

COVID-19: Comparativo recolección residuos sólidos urbanos en Trenque Lauquen mediante geoposicionamiento global

Marcos, Carlos^a; Martínez Micakoski, Fernanda^a; Enrietti, Adhemar^a;
Barbas, Marcos^a; Arqué, Emanuel^a;

a Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Trenque Lauquen
marcoscarloseduardo@gmail.com

Resumen

Un sistema de monitoreo vehicular brinda a una organización una serie de datos que pueden ser aprovechados para tomar decisiones fundamentadas que hacen a la calidad y eficiencia del servicio que brindan.

La pandemia de COVID-19 generó un alto impacto en la forma en que realizan sus actividades los Municipios, y uno de los servicios afectados fue la recolección de residuos sólidos urbanos.

El presente trabajo resume los cambios realizados en el servicio de recolección en la ciudad de Trenque Lauquen (50.000 hab.) y el análisis comparativo respecto de la manera habitual en que se llevaba a cabo, sobre la base de los datos brindados por el sistema de seguimiento satelital Infotrack.

Se concluye que algunos supuestos como que el servicio debe llevarse a cabo en horario nocturno debido a la excesiva demora producto del tráfico diurno no tienen un fundamento cierto y que las zonas en que se divide la ciudad, que en algún momento se consideraron similares desde el punto de vista del servicio, requieren un nuevo diseño sobre la base de métricas asociadas a la duración de la recolección y el desgaste de los vehículos (velocidades, cantidad de giros).

Hoy los municipios cuentan con datos existentes, o de acceso sencillo y automatizado, que deben ser utilizados para rediseñar la forma "tradicional" en que se vienen brindando los servicios. La situación de pandemia genera una oportunidad para recrear y optimizar los mismos de una manera inimaginable hace 2 años atrás y ésta no debe ser desaprovechada.

Abstract

A vehicle monitoring system provides an organization with a series of data that can be used to make informed decisions regarding the quality and efficiency of the service they provide. The COVID-19 pandemic had a major impact on the way in which municipalities carry out their activities, and one of the services affected was the collection of urban solid waste.

This paper summarizes the changes made in the collection service in the city of Trenque Lauquen (50,000 inhabitants) and the comparative analysis with respect to the usual way it was carried out, on the basis of data provided by the Infotrack satellite tracking system.

It is concluded that some assumptions, such as that the service should be carried out at night due to excessive delays caused by daytime traffic, are not well founded and that the zones into which the city is divided, which were once considered similar from the point of view of service, require a new design based on metrics associated with the duration of collection and vehicle wear and tear (speeds, number of turns).

Today, municipalities have existing or easily accessible and automated data that should be used to redesign the "traditional" way in which services are being provided. The pandemic situation creates an opportunity to recreate and optimize them in a way that was unimaginable 2 years ago and this should not be missed.

Palabras clave: recolección, residuos sólidos urbanos, seguimiento satelital, ciencia de datos.

INTRODUCCIÓN

El diseño de las rutas de recolección de residuos sólidos urbanos (RSU) de generación privada en las ciudades del interior suele partir de una propuesta inicial, realizada en base a la experiencia de los choferes de los camiones recolectores, la cual es actualizada a lo largo del tiempo de manera “ad-hoc” para cubrir el crecimiento de la ciudad ampliando el trayecto que se aproxime más a las nuevas unidades habitacionales. Esto ocasiona una ineficiencia acumulada a medida que se continúa modificando los trayectos individualmente sin contemplar el panorama general.

La consideración de “no arreglar lo que no está roto” posterga la evaluación de los recorridos y la implementación de pruebas piloto que permitan verificar alternativas basadas en una búsqueda de eficiencia en el servicio.

La pandemia de COVID-19 obligó a reestructurar el servicio adaptándolo a protocolos de cuidado que incluyó cambios de frecuencias, días y horarios en base a la creación de burbujas en los equipos de trabajo, veda de circulación en horario nocturno, restricciones en el distanciamiento entre los trabajadores en las plantas de tratamiento de los RSU, etc.

En la ciudad de Trenque Lauquen (Provincia de Buenos Aires, Argentina) los camiones recolectores cuentan con un sistema de geoposicionamiento global (GPS) lo que permitió recolectar datos previos y durante la pandemia de COVID-19. La generación de métricas a partir de los datos disponibles permitió la comparación de los cambios en el servicio de recolección y sentar las bases para un diseño de propuestas de mejora con datos duros para evaluar su efectividad.

El bajo costo del equipamiento de GPS y las características similares de los servicios de recolección de RSU para ciudades del interior con menos de 60.000 habitantes hacen que el análisis efectuado puede ser replicado con relativa sencillez en numerosas comunidades.

La gestión de RSU en la ciudad involucra el servicio de recolección de los siguientes residuos: barrido diario de las calles, patológicos, secos, húmedos y diferenciados (ver Figura 1). El primero es de generación pública y los últimos cuatro de generación privada.

Un vehículo dedicado realiza el retiro de los residuos patológicos a demanda.

El servicio de recolección diferenciada se aboca a retirar los residuos de comercios, bares, restaurantes, supermercados, que no pueden

sacar los mismos en el horario habitual de los residuos secos y húmedos domiciliarios. La recolección diferenciada se realiza a pedido por lo que no formará parte del análisis comparativo de los servicios fijos.



Figura 1: Gestión de Residuos Sólidos Urbanos.

Para gestionar el servicio la ciudad se encuentra dividida en cuatro zonas (ver Figura 2). Tres de ellas abarcan el casco urbano y una la zona de quintas y ampliación urbana.



Figura 2: Zonas 1 a 4

DESARROLLO

El sistema de geolocalización global es provisto al Municipio por la empresa Infotrack y las variables registradas son:

- identificador del vehículo,
- fecha y hora,
- velocidad en km/h,
- sentido: Norte (N), Sur (S), Este (E), Oeste (O), NE, NO, SE, SO,
- motor: encendido/parado,
- evento: tránsito, detenido, desenganche, sobre velocidad, encendido motor, fin detención,
- longitud y latitud.

El sistema realiza la captura de los datos cuando la llave del vehículo se posiciona en contacto. Visualizando la cantidad de registros

por día y por camión es posible detectar el cambio de las rutinas debido a las restricciones de la pandemia.

La flota de camiones es compartida para los servicios de residuos secos, húmedos y diferenciados, por lo tanto, el primer paso es determinar entre todos los datos obtenidos por el sistema de GPS cuáles pertenecen a cada recorrido.

Los días y horarios son un buen indicador, aunque en casos de roturas de los vehículos u otros inconvenientes, los trayectos pueden quedar inconclusos. En ciertas ocasiones otro camión puede completar el trayecto una vez finalizado el suyo, o hacerlo en el siguiente turno, con lo cual hay variabilidad.

El procesamiento de los datos se realizó mediante el software libre R [1].

Variables

Se obtuvo información histórica de 5 camiones con registros distribuidos a lo largo del año 2020.

Del total de registros, los asociados a cada camión oscilaban en un 13% a 28%, lo que denotaba un desbalanceo en el tiempo de trabajo asignado a cada uno de ellos.

Si bien los camiones pueden ser utilizados durante toda la jornada para tareas de recolección de residuos de origen público o privados diferenciados, el mayor tiempo de uso corresponde a los residuos domiciliarios.

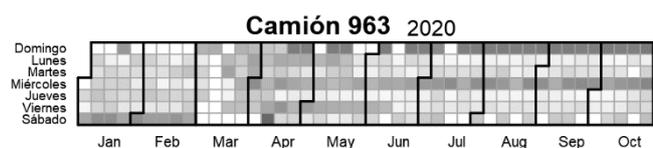


Figura 3: Frecuencia datos Camión 963

En el ejemplo de la Figura 3, en base a la frecuencia de datos de la variable “fecha”, el camión 963 se utilizó sobre todo los sábados antes del inicio de la pandemia (más oscuro implica mayor uso). A partir de abril su movimiento es mayor los miércoles y domingos. En el mes de marzo hubo días donde no se brindó el servicio debido a las restricciones impuestas en la provincia de Buenos Aires.

La variable “sentido” no aporta mayor información a nivel global ya que las direcciones tienden a anularse entre sí debido a que los vehículos parten y regresan del garaje al finalizar sus recorridos. Sin embargo, a lo largo de un recorrido permiten calcular la cantidad de giros que los camiones debieron realizar, lo que

provoca un mayor desgaste y consumo de los camiones.

La variable “evento” es redundante ya que a partir de “velocidad” es posible determinar si el vehículo se encuentra o no en movimiento. Por motivos similares también se descarta la variable “motor”.

La rapidez media es de 12 km/h, y el 50% de las velocidades registradas se encuentran entre los 9 y 16 km/h. El 99% de las muestras no superan los 38 km/h. La velocidad a partir de la cual los eventos indican sobre velocidad es de 75 Km/h. En dicha situación se encuentra el 0.1% de los casos.

Resulta de interés conocer la longitud de los recorridos y la duración de estos al realizar comparaciones. Estos parámetros se calcularon a partir de los datos de latitud, longitud y fecha de cada par de registros consecutivos y se agregó a la tabla de variables originales.

En el cálculo de la distancia se usó la fórmula semiverseno [2] que utiliza la misma proyección World Geodetic System 1984 [3] que el GPS. Adicionales a los registros periódicos el sistema GPS genera uno nuevo cada vez que el camión realiza un giro, por lo tanto el error en el cálculo de las distancias entre dos muestras consecutivas por este método es pequeño. El 50% de las distancias calculadas se ubican entre 32 y 260 metros y solo el 1% supera los 1.524 metros las cuales corresponden a trayectos en ruta sin giros cuando se trasladan a la localidad vecina a realizar la recolección.

En cuanto al lapso entre dos muestras consecutivas el 95% de los cálculos no supera los 3 minutos.

Circuitos

Partiendo de una secuencia de datos fue necesario generar los recorridos de los vehículos.

Se definió como circuito toda serie de datos, agrupados por camión, donde el intervalo entre dos cualquiera de las variables fecha no supere los 30 minutos.

El motivo de esta definición es que se pudo comprobar que la variable “evento” no era lo suficientemente confiable para definir los circuitos ya que existen muestras que no logran ser registradas sea por falta de señal momentánea, cortes de encendido cuando el camión aún se halla en movimiento, etc.

Se tuvo en cuenta que los camiones se detienen para cargar los residuos y que dicho intervalo es variable, pero nunca superior a los 30

minutos, de acuerdo a la experiencia de los operarios. En caso de que por algún motivo esto sucediera, entonces ese recorrido estará conformado por al menos un par de circuitos donde cada uno de ellos tendrá sus propias métricas.

A partir de la serie de datos asociados a un circuito se agrupó la información en variables que permitieran caracterizar dicho recorrido. Se supone que cada servicio de recolección habitual debería poseer un mayor porcentaje de registros en su zona, aunque obviamente aparecerán también registros asociados a otras cuando salen y regresan al garaje, descargan en el basural, cargan combustible, etc.

Las variables calculadas se visualizan en la Tabla 1.

Tabla 1: Cantidad de zonas asociadas a un circuito

Variable	Descripción
circuito	identificador numérico único del recorrido
zX	donde X representa cada zona y contabiliza la cantidad de muestras del circuito que se detectaron en dicha zona a partir de los datos de latitud y longitud
prolim	cantidad de muestras detectadas dentro de la Planta de Procesamiento de residuos reciclables
basural	cantidad de muestras detectadas dentro del Basural a Cielo Abierto donde se descargan los residuos no reciclables
combustible	cantidad de muestras detectadas dentro del predio de carga de combustible del Municipio
extension	sumatoria de todas las distancias entre pares de muestras consecutivas que componen el circuito
duracion	sumatoria de todos los lapsos entre pares de muestras secuenciales que componen el circuito

Zonas

Para poder caracterizar los recorridos primero es necesario determinar a qué zona pertenecen cada uno de los circuitos.

De manera de automatizar el proceso, ya que se desea a futuro evaluar las métricas de alternativas a los recorridos actuales, se utilizó una técnica de aprendizaje supervisado.

Habiéndose constatado que en ocasiones un camión realiza la recolección en más de una zona sin detenerse por más de 30 minutos, y que para trasladarse a una zona y realizar las descargas de residuos en el basural se atraviesan otras zonas se optó por un modelo predictivo de respuesta binaria, donde se calcula la probabilidad de que el circuito pertenezca a la recolección o no de una

determinada zona. De esta manera, es posible evaluar si un circuito está asociado únicamente a una zona o a más de una, a partir de los niveles de probabilidad obtenido para cada una de ellas.

El modelo de regresión logística se ajusta a estos criterios y permite conocer cómo influyen las variables regresoras en la probabilidad de ocurrencia de un suceso particular.

A la totalidad de circuitos generados se eliminaron aquellos cuya distancia total es menor a 100 metros ya que los mismos no pueden pertenecer a ninguna de las opciones de recolección de RSU.

Manualmente (ver Figura 4) se etiquetaron 1.600 circuitos para determinar a qué zona(s) pertenecen. El 70% de los circuitos se utilizó para entrenar cada modelo y el 30% restante para testear su exactitud.

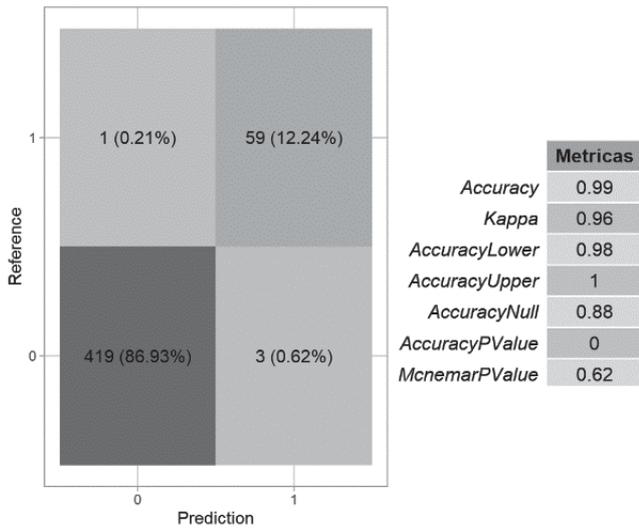


Figura 4: Visualización de recorrido y zona de pertenencia

La exactitud de los 5 modelos predictivos (uno por zona) fue superior al 98% (ver ejemplo en Figura 5) para todas las zonas y se utilizó esta predicción como asignación de cada circuito en lugar de la realizada manualmente.

Métricas

Para el cálculo de las métricas se utilizaron circuitos que estuvieran asociados a una única zona para evitar valores extremos que en realidad son representativos de dos o más zonas (ver Tabla 2).



Métricas	
Accuracy	0.99
Kappa	0.96
AccuracyLower	0.98
AccuracyUpper	1
AccuracyNull	0.88
AccuracyPValue	0
McnemarPValue	0.62

Figura 5: Matriz de confusión para muestras de testeo en predicción de circuitos de zona 1

Tabla 2: Cantidad de zonas asociadas a un circuito

Zonas simultáneas	Frecuencia
0	577
1	1.008
2	15
3	8
4	2

Las métricas se calcularon de manera diferenciada para los meses anteriores y posteriores a la pandemia. Los circuitos asociados al mes de abril no se tuvieron en cuenta debido a que fue un mes de transición.

Zona 1 recorrido paralelo a las vías (z1prl)

Visualizando los días donde existen circuitos asociados a esta zona (ver Figura 6) podemos determinar que: desde el 02 de enero hasta el 12 de marzo salvo alguna excepción, los recorridos en la zona ocurren de lunes a viernes y domingos. El viernes 13 de marzo se dejan de realizar recorridos los viernes y a partir del 23 de marzo se dejan de recolectar los lunes y miércoles. De esta manera el servicio se mantiene los martes, jueves y sábados. El 26 de mayo se agrega el lunes. El 19 de junio se agrega el viernes.

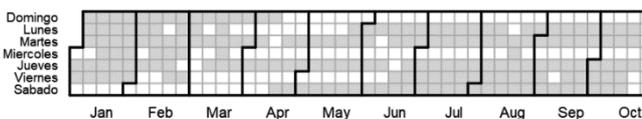


Figura 6: Días con circuitos de recolección en z1prl

Los horarios en los que se brinda el servicio se modificaron en el mes de abril. A partir de allí la recolección pasa a ser matutina, pudiendo extenderse de las 6 de la mañana a las 14 horas

(ver Figura 7). La figura representa los 10 meses de datos con diagramas de cajas, donde la línea media representa el promedio de los valores, y la extensión de la caja se extiende desde el primer al tercer cuartil, por lo que contiene el 50% de los valores centrales.

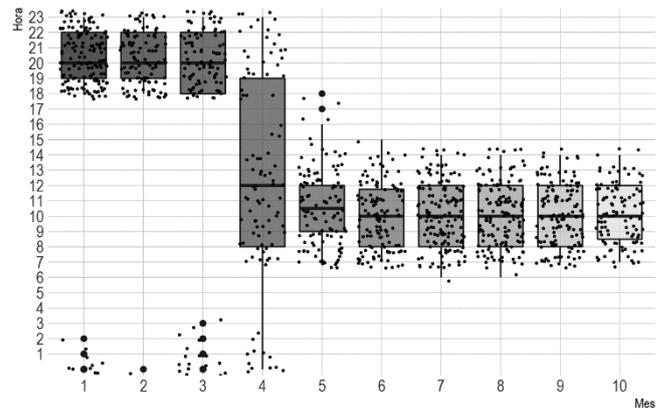


Figura 7: Horarios de las muestras de circuitos en z1prl

La duración de los circuitos es cambiante mes a mes, pero manifiestan un aparente crecimiento a partir del cambio de horario nocturno a diurno (Figura 8).

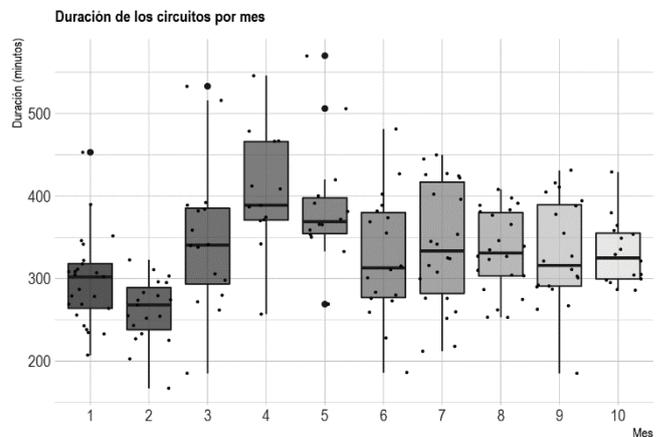


Figura 8: Duración de los circuitos en z1prl

Como las duraciones de los circuitos en z1prl no siguen una distribución normal (ver Figura 9) se verificó la diferencia estadística entre las duraciones de los recorridos con servicio nocturno (enero a marzo) y servicio diurno (mayo a octubre) mediante la prueba no paramétrica de Wilcoxon [4], cuyas hipótesis nula y alternativa no se basan en el parámetro de la media sino en la mediana.

La prueba arrojó un p-value = $2.915 \cdot 10^{-05}$ con una diferencia de 44 minutos y un intervalo de confianza del 95% entre 24 y 65 minutos. Hay evidencia suficiente para afirmar que los circuitos en el turno diurno consumen mayor tiempo, sin

embargo, al verificar la cantidad de descargas realizadas en el basural se comprobó que es mayor cuando la recolección es diurna y esto aumenta la duración total (ver Figura 10).

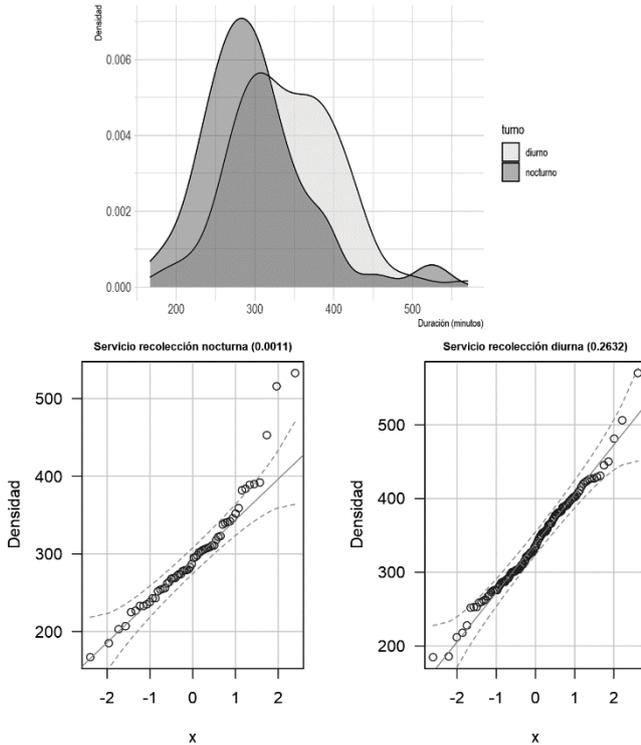


Figura 9: Distribución de la duración de los circuitos en z1prl y Q-Q plot normal



Figura 10: Cantidad de descargas en el basural en un mismo circuito en z1prl

Se aprecia que en la modalidad diurna cuando se presta el servicio un día posterior a cuando no lo hubo, se concurre con mayor frecuencia al basural, algo que no ocurría en la modalidad nocturna. Al indagar con los responsables del servicio indicaron que es algo habitual en los servicios nocturnos no regresar a descargar ya que los predios no suelen estar cercados ni debidamente iluminados e ingresan personas con la primera descarga, por lo tanto, los residuos permanecen en el camión hasta el día siguiente cuando en horario diurno se concurre al predio a vaciar el vehículo.

Comparando los recorridos diurnos y nocturnos que solo concurren una vez al basural se verifica que la duración es similar (ver Figura 11). La misma prueba arroja un p-value de 0,62.

Por lo tanto, la duración del recorrido mayor en horario diurno se basa en la concurrencia de mayor número de veces al basural que el horario nocturno y no a otros factores como mayor tránsito como se creía.

La cantidad de giros que deben realizar los camiones afectan el desgaste de los vehículos en general y de los neumáticos en particular.

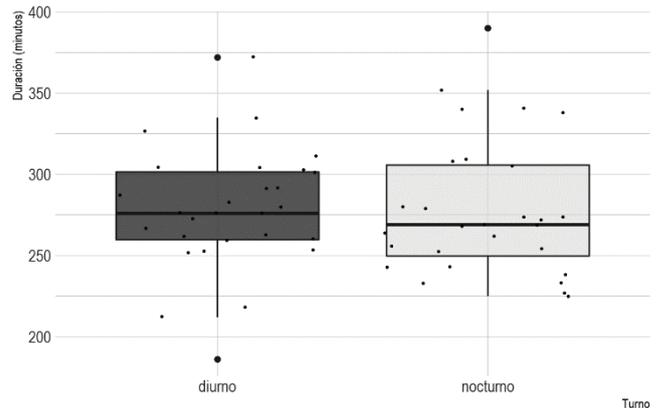


Figura 11: Duración de recorridos en circuitos con una sola concurrencia al basural en z1prl

En promedio, cuando concurren una sola vez al basural realizan unos 20 giros menos que cuando lo visitan en dos o más ocasiones. Los choferes tienden a realizar la mayor cantidad posible de tramos sin giros cuando están con la carga máxima.

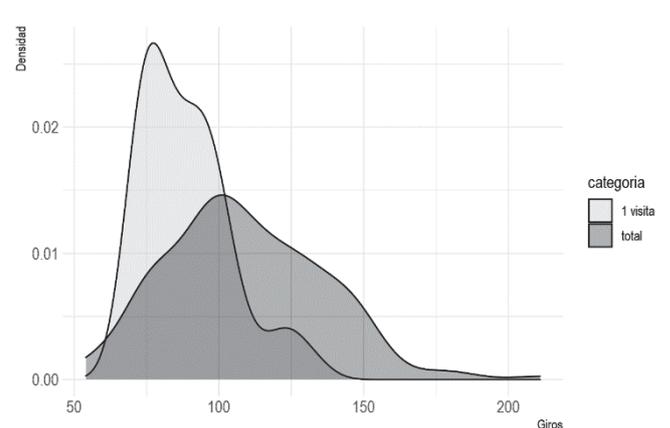


Figura 12: Distribución de giros en total y de los circuitos con una sola concurrencia al basural en z1prl

La distancia promedio recorrida con una sola visita al basural es de 52 km (ver Figura 13).

No se observan diferencias en la distribución de velocidades entre el horario diurno y nocturno (ver Figura 14).

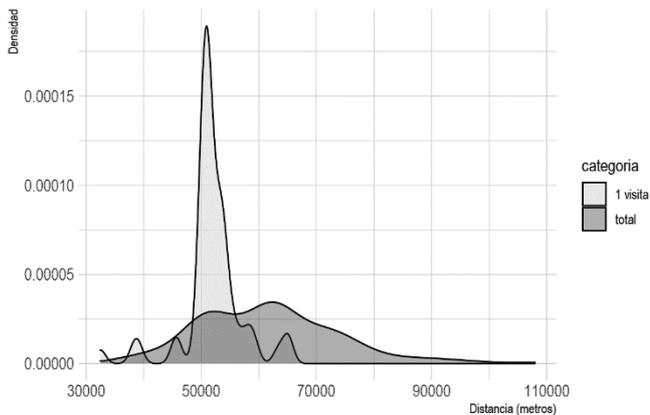


Figura 13: Distribución de distancias en total y de los circuitos con una sola concurrencia al basural en z1prl

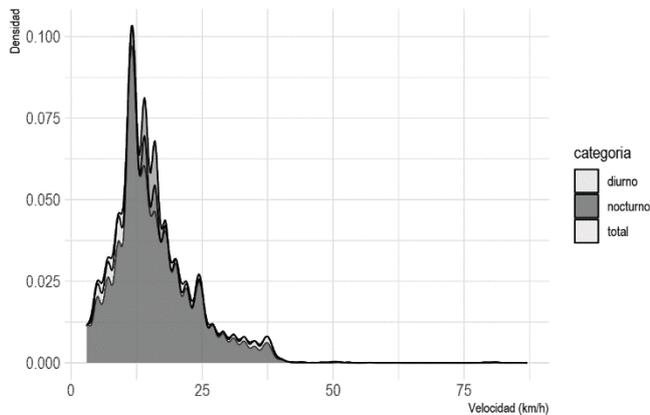


Figura 14: Distribución de velocidades en total y de los circuitos diurnos y nocturnos en z1prl

Resumiendo, las métricas de la z1prl se visualizan en la Tabla 3.

Tabla 3: Métricas para la z1prl

variable	valor	turno	recolección día anterior
duración	295	diurno	sí
	391		no
giros	106	indistinto	no aplica
distancia	61		
velocidad	14		
descargas basural	2,1	diurno	
	1,5	nocturno	

Las unidades de los valores promedio de cada métrica son: duración en minutos, distancia en kilómetros, velocidad en kilómetros/hora, giros y descargas basural en veces.

Los cálculos y verificaciones realizadas para el resto de la zona de manera similar a la z1prl se visualizan en las Tablas 4-7.

Tabla 4: Métricas para la z1prp

variable	valor	turno	recolección día anterior
duración	255	diurno	no
giros	138	indistinto	no aplica

distancia	60		
velocidad	14		
descargas basural	2	diurno	

Debido a la baja frecuencia de registros de servicio nocturno para la zona 1 perpendicular a las vías (z1prp) no se analiza si existe diferencia significativa en la duración del servicio al cambiar de turno.

Para las zonas 2, 3 y 4 no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre el turno diurno y nocturno.

Tabla 5: Métricas para la z2

variable	valor	turno	recolección día anterior
duración	247	indistinto	sí
	345		no
giros	235		no aplica
distancia	49		
velocidad	12		
descargas basural	1,3		

Tabla 6: Métricas para la z3

variable	valor	turno	recolección día anterior
duración	248	indistinto	sí
	336		no
giros	203		no aplica
distancia	55		
velocidad	11		
descargas basural	1,5		

Tabla 7: Métricas para la z4

variable	valor	turno	recolección día anterior
duración	286	indistinto	sí
	341		no
giros	268		no aplica
distancia	73		
velocidad	12		
descargas basural	1		

CONCLUSIONES

La situación de pandemia abrió la posibilidad de rediseñar servicios y llevar a cabo pruebas masivas que, aunque necesarias, hubieran sido imposible de concretar en otro momento.

Tecnologías ya ampliamente utilizadas como el servicio de GPS en los vehículos de recolección brindan la oportunidad de generar métricas de manera permanente para caracterizar el servicio y observar desvíos ante modificaciones planificadas o no.

Ideas instaladas como que el servicio diurno de recolección de RSU requerirían de mayor tiempo para ser realizado pudo ser contrastado y rebatido a partir de datos concretos que permanentemente eran recolectados, pero no aprovechados para evaluar el servicio.

Desechado el obstáculo de un mayor requerimiento de tiempo para brindar el servicio en horario diurno, realizar la actividad completa a plena luz del día ofrece importantes ventajas:

a) minimiza el riesgo de accidentes ya que el recolector tiene una mejor visión al momento de levantar la bolsa y facilita la detección del operario por los vehículos que están transitando en ese momento por la arteria;

b) la descarga en zona del basural es más segura tanto para el cuidado del camión como así también para las personas que pudieran estar en el lugar;

c) ante inconvenientes mecánicos, la reparación puede ser más rápida y efectiva, con horarios en los que es más sencillo encontrar provisión de repuestos;

d) al ser diaria se puede tener un mejor control y seguimiento de cómo el vecino separa y deposita en la acera el RSU.

Las métricas generadas permiten replantear el servicio de manera que la carga sobre el camión y la cuadrilla de operarios sea similar, atendiendo no solo a la duración de la recolección si no también al desgaste del vehículo en base a la frecuencia de giros, y distancia recorrida. Si bien no se tuvo en cuenta en este trabajo, también es posible determinar, a partir de los datos del GPS, la cantidad de "paradas" que realiza el vehículo para recolectar ya que se detectan recorridos más cortos (z_2) con duración similar o menor a la de zonas con recorridos mayores (z_{1prl} o z_{1prp}).

Aprovechar los datos que ya se están recolectando en forma continua, utilizar la creatividad y animarse a implementar cambios como, de manera obligada, nos requirió la pandemia de COVID-19, deberían perdurar más allá de cuando los efectos de la situación de emergencia sanitaria desaparezcan si deseamos brindar servicios cada vez mejores.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Tecnológica Nacional por promover y apoyar actividades de investigación entre sus docentes, alumnos y graduados.

REFERENCIAS

- [1] R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- [2] Robert J. Hijmans (2019). geosphere: Spherical Trigonometry. R package version 1.5-10.
- [3] Muneendra Kumar (1988) World geodetic system 1984: A modern and accurate global reference frame, Marine Geodesy, 12:2, 117-126, DOI: 10.1080/15210608809379580.
- [4] Fagerland MW, Sandvik L. The Wilcoxon-Mann-Whitney test under scrutiny. Stat Med. 2009 May 1;28(10):1487-97. doi: 10.1002/sim.3561. PMID: 19247980.