



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
Facultad Regional Santa Fe

Doctorado en Ingeniería
Mención Industrial

Tesis Doctoral

“Gestión Eficiente de Recursos Energéticos en
Parques Industriales mediante una Estrategia de
Negociación basada en Subasta Doble”

Ing. Ariel Mariano ROCCHI

Director: Dr. Jorge Ruben VEGA

Co-Directora: Dra. Érica Soledad FERNÁNDEZ

Santa Fe, Argentina

Abril 2022

Rocchi, Ariel Mariano

Gestión eficiente de recursos energéticos en parques industriales mediante una estrategia de negociación basada en subasta doble / Ariel Mariano Rocchi. - 1a edición para el alumno - Rafaela : Ariel Mariano Rocchi, 2023.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-88-7601-6

1. Subastas. 2. Parques. 3. Industrias. I. Título.
CDD 338.02



Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional Santa Fe

Se presenta esta Tesis en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Tecnológica Nacional para la obtención del grado académico de Doctor en Ingeniería mención Industrial

“Gestión Eficiente de Recursos Energéticos en Parques Industriales mediante una Estrategia de Negociación basada en Subasta Doble”

Ing. Ariel Mariano ROCCHI

Director: Dr. Jorge Ruben VEGA

Co-Directora: Dra. Érica Soledad FERNÁNDEZ

Jurados de Tesis

Dr Patricio DONATO

Dr Oscar QUIROGA

Dr Diego FERREYRA

Santa Fe, Argentina

Abril 2022

Dedicatoria

“... Y a la hora del naufragio

Y la de la oscuridad

Alguien te rescatará

Para ir cantando...”

M. Elena Walsh

A todos ellos, gracias...

Resumen

En este trabajo, la problemática abordada se encuentra asociada a un conjunto dado de industrias de un parque industrial, que están interesadas en negociar los servicios energéticos (entre ellos se podrían enumerar: electricidad, gas natural, combustibles líquidos, vapor de proceso, aire comprimido, otros) o servicios no energéticos (entre ellos se podrían enumerar: agua potable, efluentes, agua caliente sanitaria, gas industrial dióxido de carbono, otros) actuales y disponibles, dentro del mismo parque. Sin embargo, cada industria tiene intereses, patrones y perfiles de comportamiento individuales; por ejemplo, con respecto al consumo, generación, almacenamiento o provisión de un determinado servicio o recurso.

Un concepto clave para este trabajo de tesis, es el de capacidad de suministro (CS), típicamente vinculado a las posibilidades de una industria de brindar, contratar y adquirir el suministro de un determinado servicio. Normalmente, las industrias de un parque industrial, contratan una determinada capacidad de suministro, para cada servicio, a la empresa distribuidora de servicio durante un período de tiempo relativamente largo. Este tipo de contrato suele ser costoso para cada industria, porque se deben considerar grandes capacidades de suministro para evitar multas debido a una demanda máxima del servicio eventualmente alto, que podría ocurrir incluso durante un período corto de tiempo. La estrategia estática actual sobre la asignación de CS y su valor económico (valor fijado en función de la CS máxima requerida) no parece ser la más adecuada, ya que establece pautas que pueden perjudicar (al menos del punto de vista económico) los costos por servicio o recurso consumido en la industria, e incrementar los riesgos de penalización por incumplimiento de contratos.

Este trabajo propone una estrategia dinámica para asignar simultáneamente el precio y la fracción de la capacidad de suministro a cada industria ubicada en un parque industrial, y para cada servicio. La estrategia de asignación tiene como objetivo lograr un beneficio conjunto para todas las empresas involucradas (es decir, las industrias y las empresas distribuidoras de servicio). El procedimiento propuesto involucra a un *Subastador*, quien supervisa, ejecuta y administra el procedimiento de negociación. La estrategia de reasignación de capacidad de suministro se basa en un mecanismo de subasta doble, que puede aplicarse en períodos de tiempo de duración arbitraria. Se simulan varios casos de estudio y los resultados obtenidos sugieren que no existen incentivos económicos

individuales o colectivos para adoptar una demanda u oferta inelástica; y aumentar el número de empresas tiene un impacto positivo en la negociación.

En este sentido, este trabajo presenta un marco de negociación sistemático y dinámico, para determinar la asignación justa de CS y precio, entre las distintas empresas participantes, en función de sus respectivos intereses, posicionamientos y proyecciones como unidad de negocio.

El documento aborda el estado de arte con referencia a: a- las empresas radicadas en zonas comunes o aledañas, b- estrategias de gestión y negociación, y c- teoría de juegos. Además, propone un mecanismo de negociación para la asignación de precios y de fracciones de CS a los diferentes agentes participantes; y exhibe aspectos de modelado de parques industriales presentes y propuestos. Por último, se desarrolla un caso de estudio simulado, sobre la base de dos servicios energéticos y un servicio no energético ubicados en un parque industrial, que involucran diferentes números de empresas, generación, almacenamiento o consumo de servicios.

Índice General

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Marco general | 1 |
| 1.1 | Introducción | 1 |
| 1.2 | Problemática abordada | 2 |
| 1.2.1 | Enunciado del problema | 2 |
| 1.2.2 | Alcance de la tesis..... | 3 |
| 1.2.3 | Hipótesis de la tesis..... | 3 |
| 1.3 | Objetivos | 4 |
| 1.3.1 | Objetivo general..... | 4 |
| 1.3.2 | Objetivos específicos | 4 |
| 1.4 | Breve descripción de los contenidos de cada capítulo | 5 |
| 2 | Estado del arte | 6 |
| 2.1 | Introducción | 6 |
| 2.2 | Parques industriales y tipos de empresas radicadas | 6 |
| 2.3 | Requerimientos energéticos y naturales típicos. | 8 |
| 2.3.1 | Estrategias de gestión de la energía y recursos naturales en IP | 9 |
| 2.3.2 | Negociación de servicios: energéticos y no energéticos..... | 12 |
| 2.4 | Teoría de juegos: una herramienta para negociar..... | 14 |
| 2.4.1 | Casos descritos en la bibliografía. | 15 |
| 2.4.2 | Aspectos de interés no detectados en la bibliografía. | 17 |
| 2.5 | Focalización de los contenidos de la tesis..... | 18 |
| 3 | Mecanismo para la negociación de la capacidad de suministro | 19 |
| 3.1 | Introducción | 19 |
| 3.2 | Conceptualización de la capacidad de suministro..... | 20 |
| 3.3 | Planteo del problema..... | 21 |
| 3.4 | Generalidades del mecanismo a proponer para negociar CS | 22 |
| 3.5 | PAPYCS: Procedimiento para la asignación de precios y fracción de CS .. | 24 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.5.1 | Datos de entrada (asociados al período 't')..... | 24 |
| 3.5.2 | Datos de entrada (asociados al ciclo 'c') | 26 |
| 3.5.3 | Algoritmo de subasta doble: AlgSD | 26 |
| 3.5.4 | Algoritmo para asignar la capacidad de suministro: AlgACS..... | 27 |
| 3.5.5 | Algoritmo de mejora de la eficiencia de transacciones: AlgMET..... | 28 |
| 3.5.6 | Actualización de valores. | 30 |
| 3.5.7 | Datos de salida (asociados al ciclo 'c')..... | 31 |
| 3.5.8 | Datos de salida (asociados al período 't')..... | 31 |
| 3.6 | Seudocódigo de un ciclo de PAPYCS..... | 31 |
| 3.7 | Negociación entre tres empresas participantes y una EDS. | 33 |
| 3.7.1 | Condición de demanda inelástica. | 38 |
| A. | Caso 1. Demanda inelástica límite para $j=1, 2, 3, 4$ | 39 |
| B. | Caso 2. Demanda inelástica límite para $j=4$ (EDS)..... | 39 |
| C. | Caso 3. Demanda inelástica límite para $j=1, 2, 3$ | 40 |
| D. | Caso 4. Demanda inelástica límite para $j=1$ | 41 |
| E. | Caso 5. Demanda inelástica límite para $j=2$ | 41 |
| F. | Caso 6. Demanda inelástica límite para $j=3$ | 41 |
| 3.7.2 | Condición de oferta inelástica..... | 42 |
| A. | Caso 1. Oferta inelástica límite para $j=1, 2, 3, 4$ | 42 |
| B. | Caso 2. Oferta inelástica límite para $j=4$ (EDS)..... | 43 |
| C. | Caso 3. Oferta inelástica límite para $j=1, 2, 3$ | 43 |
| D. | Caso 4. Oferta inelástica límite para $j=1$ | 44 |
| E. | Caso 5. Oferta inelástica límite para $j=2$ | 44 |
| F. | Caso 6. Oferta inelástica límite para $j=3$ | 45 |
| 3.7.3 | Negociación afectada por la cantidad de participantes. | 45 |
| A. | Una empresa se retira de la negociación | 45 |
| B. | El número de empresas aumenta | 47 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.8 | Conclusiones | 49 |
| 4 | Modelado de parques industriales | 51 |
| 4.1 | Introducción | 51 |
| 4.2 | Modelo de gestión de servicios y CS actual en los IP..... | 52 |
| 4.2.1 | Actores participantes..... | 52 |
| 4.2.2 | Metodología de contratación de los servicios..... | 53 |
| 4.3 | Modelo de gestión de servicios CS propuesto para los IP | 55 |
| 4.3.1 | Pautas, procedimientos, y ejemplo sintético para negociar CS de SE y SNE | 56 |
| 4.3.2 | Posicionamiento de una empresa para negociar CS de SE y SNE | 60 |
| 4.3.3 | Propuesta para la implementación del modelo de negociación | 61 |
| 4.3.4 | Seudocódigo a aplicar por el <i>Subastador</i> | 63 |
| 4.4 | Indicadores asociados al proceso de gestión de los servicios en un IP | 64 |
| 4.4.1 | Indicador por empresa, por servicio, y por período t | 65 |
| 4.4.2 | Indicadores globales del IP | 65 |
| 4.5 | Conclusiones | 66 |
| 5 | Aplicación de la estrategia de negociación de energía en un IP..... | 67 |
| 5.1 | Introducción | 67 |
| 5.2 | Caso de estudio..... | 67 |
| 5.2.1 | Ofertas máximas y demandas estimadas en el IP | 68 |
| 5.2.2 | Modelado de los actores participantes en el IP | 69 |
| A. | <i>Demanda de EL, GN y APT ($j = 1, \dots, 6$)</i> | 70 |
| B. | <i>Generación de EL mediante paneles solares fotovoltaicos ($j = 8$)</i> | 70 |
| C. | <i>Almacenamiento de energía por aire comprimido ($j = 7$)</i> | 71 |
| D. | <i>Almacenamiento de energía en estación de repostaje de hidrógeno ($j = 9$)</i> | 72 |
| 5.3 | Escenarios de negociación de servicios con la estrategia propuesta..... | 73 |
| A. | <i>Negociación de la energía eléctrica</i> | 76 |

| | | |
|-----|--|-----|
| B. | <i>Negociación del gas natural</i> | 79 |
| C. | <i>Negociación de agua potable</i> | 82 |
| 5.4 | Cálculo de indicadores | 85 |
| 5.5 | Análisis de resultados | 87 |
| 5.6 | Conclusiones | 91 |
| 6 | Conclusiones generales y posibles trabajos a futuro | 93 |
| 6.1 | Conclusiones generales | 93 |
| 6.2 | Posibles trabajos a futuro | 96 |
| 7 | Referencias bibliográficas | 98 |
| 8 | Anexos | 110 |
| 8.1 | Anexos I: Nomenclatura | 110 |
| 8.2 | Anexos II: Tablas de resultados numéricos correspondientes a las negociaciones del IP del Capítulo 5 | 112 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Fig. 3.1: POPYCS: Procedimiento para asignar precios y fracción de CS al participante j , en el ciclo c del período t , para cada servicio..... | 23 |
| Fig. 3.2. Esquema conceptual de conexiones de 4 participantes al AP ($j = 1, 2, 3$: industrias; $j = 4$: EDS)..... | 33 |
| Fig. 3.3. Evoluciones de CS y potencias a lo largo de 16 períodos. Caso CS contratada constante..... | 34 |
| Fig. 3.4. Evoluciones de CS y potencias a lo largo de 16 períodos. Caso de fracciones de CS contratadas variables entre períodos t | 36 |
| Fig. 3.5. Caso 1: Evoluciones de CS y potencias a lo largo de 16 períodos..... | 39 |
| Fig. 3.6. Caso 2: Evoluciones de CS y potencias a lo largo de 16 períodos..... | 40 |
| Fig. 3.7. Caso 3: Evoluciones de CS y potencias a lo largo de 16 períodos..... | 40 |
| Fig. 3.8. Caso 1: Evoluciones de CS y potencias a lo largo de 16 períodos..... | 42 |
| Fig. 3.9. Caso 2: Evoluciones de CS y potencias a lo largo de 16 períodos..... | 43 |
| Fig. 3.10. Caso 3: Evoluciones de CS y potencias a lo largo de 16 períodos..... | 44 |
| Fig. 3.11. Sin $j=1$. Evoluciones de CS y potencias a lo largo de 16 períodos..... | 46 |
| Fig. 3.12. Evoluciones de CS y potencias a lo largo de 16 períodos. Caso de fracciones de CS contratadas variables entre períodos t | 48 |
| Fig. 4.1. <i>Layout</i> esquemático de un IP con $N E_{\text{int}}$, $3 E_{\text{ext}}$, (1 SNE y 2 SE)..... | 53 |
| Fig. 4.2. <i>Layout</i> esquemático de un IP con 11 E_{int} , 4 E_{ext} y 4 SE..... | 60 |
| Fig. 4.3. Modelo actual para contratar CS y precio entre E_{int} y E_{ext} radicadas en un IP, para cada período t | 62 |
| Fig. 4.4. Modelo propuesto para contratar CS y precio entre E_{int} y E_{ext} radicadas en un IP, para cada período t | 63 |
| Fig. 5.1. Caso de estudio: <i>Layout</i> del IP..... | 68 |
| Fig. 5.2: Curvas típicas de demanda diaria de energía eléctrica, en días hábiles, semi-hábiles y feriados (provincia de Santa Fe, octubre de 2015) [104]..... | 69 |
| Fig. 5.3. Evoluciones de potencias eléctricas a lo largo de 16 períodos..... | 73 |

| | |
|---|----|
| Fig. 5.4. Evoluciones de caudales de GN a lo largo de 16 períodos..... | 74 |
| Fig. 5.5. Evoluciones de caudales de APt a lo largo de 16 períodos. | 75 |
| Fig. 5.6. Evoluciones de CS y potencias a lo largo de 16 períodos considerados. Caso de CS contratada constante..... | 77 |
| Fig. 5.7. Evoluciones de CS y potencias a lo largo de 16 períodos considerados. Caso de fracciones de CS contratadas variables entre períodos t | 79 |
| Fig. 5.8. Evoluciones de precios de CS a lo largo de 16 períodos considerados. Caso de fracciones de CS contratadas variables entre períodos t | 79 |
| Fig. 5.9. Evoluciones de CS y caudales a lo largo de 16 períodos considerados. Caso de CS contratada constante..... | 80 |
| Fig. 5.10. Evoluciones de CS y caudales a lo largo de 16 períodos considerados. Caso de fracciones de CS contratadas variables entre períodos t | 82 |
| Fig. 5.11. Evoluciones de precios de CS a lo largo de 16 períodos considerados. Caso de fracciones de CS contratadas variables entre períodos t | 82 |
| Fig. 5.12. Evoluciones de CS y caudales a lo largo de 16 períodos considerados. Caso CS contratada constante..... | 83 |
| Fig. 5.13. Evoluciones de CS y caudales a lo largo de 16 períodos considerados. Caso de fracciones de CS contratadas variables entre períodos t | 85 |
| Fig. 5.14. Evoluciones de precios de CS a lo largo de 16 períodos considerados. Caso de fracciones de CS contratadas variables entre períodos t | 85 |
| Fig. 5.15. Evoluciones de CSI de EL, a lo largo de 16 períodos considerados. Caso de fracciones de CS contratadas variables entre períodos t | 86 |
| Fig. 5.16. Evoluciones de CSI de GN, a lo largo de 16 períodos considerados. Caso de fracciones de CS contratadas variables entre períodos t | 87 |
| Fig. 5.17. Evoluciones de CSI de APt, a lo largo de 16 períodos considerados. Caso de fracciones de CS contratadas variables entre períodos t | 87 |
| Fig. 5.18. Evoluciones de CS, CSR y CSI para EL, a lo largo de 16 períodos considerados. Caso de fracciones de CS contratadas fijas (color negro) y variables (color rojo) entre períodos t | 90 |

Fig. 5.19. Evoluciones de CS, CSR y CSI para GN, a lo largo de 16 períodos considerados. Caso de fracciones de CS contratadas fijas (color negro) y variables (color rojo) entre períodos t 90

Fig. 5.20. Evoluciones de CS, CSR y CSI para APt, lo largo de 16 períodos considerados. Caso de fracciones de CS contratadas fijas (color negro) y variables (color rojo) entre períodos t 91

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| TABLA 3.I: TO y TD del Participante $j = 1$ | 25 |
| TABLA 3.II: Matriz de Ventas-Compras para los Participantes $j = 1, \dots, N + 1$... | 26 |
| TABLA 3.III: Fracción Promedio de CS por Pareja Vendedor-Comprador | 28 |
| TABLA 3.IV: Matriz del Vendedor $1v$, $M1$ y Vectores $s1$ y $r1$ asociados | 29 |
| TABLA 3.V: Ventas-Compras: Tratos Efectivos..... | 30 |
| TABLA 3.VI: $P(j,t)$ y $CS(j,t,C(t))$ en $[Ua]$, por participante j en el período t | 34 |
| TABLA 3.VII: $TD(jc, t)$ y $TO(jv, t)$, por participante j en el período t | 35 |
| TABLA 3.VIII: $TD(4c, t)$ y $TO(4v, t)$, para la EDS en el período t | 35 |
| TABLA 3.IX: $CS(j,t,C(t))$ en $[Ua]$, por participante j en el período t | 36 |
| TABLA 3.X: $Pr(j,t,C(t))$ en $[\$a]$, por participante j en el período t | 37 |
| TABLA 3.XI: Índices de Evaluación Económica (para $T = 16$) | 38 |
| TABLA 3.XII - Caso 1: Índices de Evaluación Económica..... | 39 |
| TABLA 3.XIII - Caso 2: Índices de Evaluación Económica | 40 |
| TABLA 3.XIV - Caso 3: Índices de Evaluación Económica | 41 |
| TABLA 3.XV - Caso 4: Índices de Evaluación Económica..... | 41 |
| TABLA 3.XVI - Caso 5: Índices de Evaluación Económica | 41 |
| TABLA 3.XVII - Caso 6: Índices de Evaluación Económica | 41 |
| TABLA 3.XVIII - Caso 1: Índices de Evaluación Económica..... | 43 |
| TABLA 3.XIX - Caso 2: Índices de Evaluación Económica | 43 |
| TABLA 3.XX - Caso 3: Índices de Evaluación Económica..... | 44 |
| TABLA 3.XXI - Caso 4: Índices de Evaluación Económica | 44 |
| TABLA 3.XXII - Caso 5: Índices de Evaluación Económica | 45 |
| TABLA 3.XXIII - Caso 6: Índices de Evaluación Económica..... | 45 |
| TABLA 3.XXIV: Índices de Evaluación Económica, sin $j = 1$ | 46 |
| TABLA 3.XXV: Índices de Evaluación Económica, sin $j = 2$ | 46 |
| TABLA 3.XXVI: Índices de Evaluación Económica, sin $j = 3$ | 46 |

| | |
|--|-----|
| TABLA 3.XXVII: $P(j,t)$ y $CS(j,t,C(t))$ en [ua], por participante j en el período t | 47 |
| TABLA 3.XXVIII: $TD(jc, t)$ y $TO(jv, t)$, por participante j en el período t | 47 |
| TABLA 3.XXIX: $CS(j,t,C(t))$ en [Ua], por participante j en el período t | 48 |
| TABLA 3.XXX: $Pr(j,t,C(t))$ en (\$a), por participante j en el período t | 49 |
| TABLA 3.XXXI: Índices de Evaluación Económica (para T = 16) | 49 |
| Tabla 4.I: $CSR(t)$ de SE y SNE para cada E_{ext} | 60 |
| TABLA 5.I: $P(j,t)$ [kw], por participante j en el período t | 74 |
| TABLA 5.II: $Q_{gn}(j,t)$ [Nm ³ /h], por participante j en el período t | 75 |
| TABLA 5.III: $Q_{apt}(j,t)$ [l/h], por participante j en el período t | 76 |
| TABLA 5.IV: $TD(jc, t)$ y $TO(jv, t)$, por participante j en el período t | 78 |
| TABLA 5.V: $TD(10c, t)$ y $TO(10v, t)$, para la EDS en el período t | 78 |
| TABLA 5.VI: $TD(jc, t)$ y $TO(jv, t)$, por participante j en el período t | 81 |
| TABLA 5.VII: $TD(10c, t)$ y $TO(10v, t)$, para la EDS en el período t | 81 |
| TABLA 5.VIII: $TD(jc, t)$ y $TO(jv, t)$, por participante j en el período t | 84 |
| TABLA 5.IX: $TD(10c, t)$ y $TO(10v, t)$, para la EDS en el período t | 84 |
| TABLA 5.X - EL: Índices de Evaluación Económica, $CSI_{(ac)}$ y $CSR_{(ac)}$ | 89 |
| TABLA 5.XI - GN: Índices de Evaluación Económica, $CSI_{(ac)}$ y $CSR_{(ac)}$ | 89 |
| TABLA 5.XII – APt: Índices de Evaluación Económica, $CSI_{(ac)}$ y $CSR_{(ac)}$ | 89 |
| TABLA II.I: $P(j,t)$ y $CS(j,t,C(t))$ en [kw], por participante j en el período t | 112 |
| TABLA II.II: $CS(j,t,C(t))$ en [kw], por participante j en el período t , para EL | 114 |
| TABLA II.III: $Pr(j,t,C(t))$ en [\$a], por participante j en el período t , para EL..... | 116 |
| TABLA II.IV: $Q_{GN}(j,t)$ y $CS(j,t,C(t))$ en [Nm ³ /h], por participante j en el período t | 118 |
| TABLA II.V: $CS(j,t,C(t))$ en [Nm ³ /h], por participante j en el período t , para GN | 120 |
| TABLA II.VI: $Pr(j,t,C(t))$ en [\$a], por participante j en el período t , para GN | 122 |
| TABLA II.VII: $Q_{APt}(j,t)$ y $CS(j,t,C(t))$ en [l/h], por participante j en el período t ... | 124 |
| TABLA II.VIII: $CS(j,t,C(t))$ en [l/h], por participante j en el período t , para APt.. | 126 |

| | |
|--|-----|
| TABLA II.IX: $Pr(j,t,C(t))$ en [\$a], por participante j en el período t , para APT..... | 128 |
| TABLA II.X: SUBASTADOR - Tabla Resumen: P_o , CSI, CSR (parte 1) | 130 |
| TABLA 8.X: SUBASTADOR - Tabla Resumen: P_o , CSI, CSR (parte 2) | 132 |

1 Marco general

1.1 Introducción

El sistema energético argentino tiene actualmente una fuerte dependencia de los combustibles fósiles, con el consiguiente impacto negativo en aspectos ambientales, sociales e industriales [1]. Estas características están gradualmente impulsando actividades vinculadas con el uso racional de la energía, el desarrollo de fuentes de energía renovables, y la implementación de estrategias que permitan optimizar los recursos disponibles. En general, existe un interés gubernamental en incentivar la generación de nuevas fuentes de energías renovables para que se integren al sistema de potencia existente. En particular, hay un interés focalizado hacia estructuras energéticas específicas, como las de los parques industriales, con el objetivo de crear sinergias entre las empresas, lo que les permitiría compartir y utilizar de manera eficiente recursos naturales y económicos [2]. Indudablemente, el área energética requiere una atención primordial en la política de desarrollo de nuestro país, a tal punto que integra los temas estratégicos establecidos por el Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, Plan Argentina Innovadora 2020 [3], [4].

Muchas actividades industriales se desarrollan en una misma área geográfica o en predios o parques industriales (IP), donde se radica un conjunto de sistemas productivos integrado por diferentes empresas autónomas y heterogéneas. Indudablemente, la energía eléctrica tiene una elevada penetración entre los insumos energéticos de las empresas; y, en general, compran esta energía a la red interconectada nacional a través de contratos celebrados con empresas distribuidoras. En algunos pocos casos, las empresas más desarrolladas o previsoras pueden generar o almacenar parcialmente energía, o disponer de sistemas de generación relativamente pequeños y de uso esporádico, que les permitiría atender necesidades mínimas durante interrupciones del suministro energético externo, o bien mitigar demandas elevadas en períodos horarios acotados, caracterizados por exceder muchas veces las potencias contratadas a la empresa distribuidora. En los últimos años, sin embargo, han comenzado a tomar preponderancia las microrredes eléctricas [5]. Según el estándar IEEE 1547.4-2011 [6], una microrred eléctrica es un sistema intencionalmente planeado para incluir recursos distribuidos (generadores de energía eléctrica o calor, bancos de capacitores, sistemas de almacenamiento de energía, otros), que en forma temporaria puede estar (o no) vinculada al resto del sistema interconectado.

Las microrredes se conciben especialmente para tener una alta penetración de fuentes de energía renovable (por ejemplo, eólica y fotovoltaica), y se las ubica cerca de los centros de consumo para suministrar buena calidad de energía y soportar bajas pérdidas de transmisión [5]. Según [7], más de 1.437 proyectos de microrredes que representan casi 13.400 megavatios de capacidad están propuestos, planificados, en construcción o en funcionamiento en todo el mundo.

La tarea de interés detectada en esta propuesta, consiste en proveer —preferentemente a un conjunto de empresas radicadas en una zona común— una estrategia de gestión operativa que les permita incrementar su productividad, a partir de la idea general de aumentar la eficiencia en el uso de servicios energéticos (SE) y no energéticos (SNE). Para ello, se vislumbra como alternativa de estudio, la propuesta de conformar una red colaborativa de empresas, y desarrollar una estrategia innovadora para la gestión de dichos servicios en busca de un beneficio compartido. El mecanismo a proponer no solo debe asegurar la intercambiabilidad para un mismo servicio (lo que una empresa deja de usar, otra lo toma), sino que también este hecho se manifiesta entre cada servicio, ya que, si un conjunto de empresas deja de usar un determinado tipo de servicio otras lo pueden usufructuar. Una ventaja extra que podría llegar a proveerse (aunque no será contemplada en este trabajo), es reducir el impacto ambiental ocasionado por la operación del sistema industrial.

1.2 Problemática abordada

1.2.1 Enunciado del problema

En este trabajo la problemática abordada se define y establece de la siguiente manera: un conjunto dado de empresas participantes ($j = 1, 2, \dots, N$) están interesadas en negociar determinados servicios (entre ellos se podrían enumerar: electricidad, gas natural, combustibles líquidos, vapor de proceso, aire comprimido, agua potable, otros) actuales y disponibles, dentro de un parque. Sin embargo, cada empresa tiene intereses, patrones y perfiles de comportamiento individuales; por ejemplo, con respecto al consumo, generación, almacenamiento o provisión de un determinado recurso.

Un concepto clave para este trabajo de tesis, es el de Capacidad de Suministro (CS), típicamente vinculado a las posibilidades de una empresa de brindar, contratar y adquirir el suministro de un determinado servicio. La estrategia estática actual sobre la asignación de CS y su valor económico (valor fijado en función de la CS máxima requerida) no

parece ser la más adecuada, ya que establece pautas que pueden perjudicar (al menos del punto de vista económico) los costos por energía consumida en las empresas, e incrementar los riesgos de penalización por incumplimiento de contratos. En este sentido, el objetivo de este trabajo es presentar un marco de negociación sistemático y dinámico, para determinar la asignación justa de CS y precio, entre las distintas empresas participantes, en función de sus respectivos intereses, posicionamientos y proyecciones como unidad de negocio.

1.2.2 Alcance de la tesis

Típicamente, una industria contrata una CS para un determinado servicio a la compañía de distribución de servicio (EDS) por un período de tiempo relativamente largo. Este tipo de contrato a menudo es costoso para la industria, ya que se deben considerar altas CS en función de una demanda máxima, que podría ocurrir incluso en un corto período de tiempo, para evitar una penalización. Como alternativa superadora, se propone desarrollar una estrategia dinámica para asignar simultáneamente el precio y la fracción de la CS del servicio para cada industria ubicada en un IP. La estrategia de asignación tiene como objetivo alcanzar un beneficio conjunto para todas las empresas involucradas; es decir, tanto las industrias como las empresas de distribución de: energía eléctrica, gas natural, agua potable y efluentes. El procedimiento propuesto involucra a una serie de algoritmos secuenciales que puedan ser implementados en sistemas de cómputo estándar. Basado en un contexto general de la teoría de juegos como marco conceptual, la estrategia para la reasignación de la CS utiliza un mecanismo de subasta doble, que puede aplicarse en períodos de tiempo de duración arbitraria. La propuesta se evalúa sobre la base de ejemplos sintéticos que involucran un número diferente de industrias y consumos de servicios.

1.2.3 Hipótesis de la tesis

Analizada la bibliografía disponible, se considera factible generar conocimiento original basado en las siguientes hipótesis:

i) Las investigaciones actuales relacionadas con el proceso de toma de decisiones en IP, relacionadas con la comercialización de servicios, transitan aún una etapa de desarrollo científico, con existencia de varios nichos de conocimiento que deben fortalecerse, como etapa previa a implementaciones tecnológicas más maduras.

ii) Es viable desarrollar nuevos mecanismos de negociación que definan el estado de operación de un IP, bajo las premisas de requerir tiempos de procesamiento más breves y obtener soluciones de convergencia segura para todos los agentes participantes. En este contexto, la operación en materia de servicios en un IP puede definirse a partir de un funcional que pondere simultáneamente indicadores que contemplen aspectos económicos, técnicos, regulatorios, y potencialmente extensibles a consideraciones ambientales y de calidad de servicio o producto.

iii) Las estrategias actuales de comercialización de energía permiten la integración e interacción entre diferentes agentes participantes o entre diferentes clases de servicios. Además, pueden ser tomadas como base para metodologías más elaboradas, en sentido de que no se transformen en una barrera para dicha integración e interacción.

iv) Es viable validar las propuestas a partir de modelar y simular casos particulares de empresas localizadas en parques industriales.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Contribuir al desarrollo de estrategias de gestión novedosas que permitan incrementar la productividad de empresas radicadas en zonas comunes o aledañas, y que posean un espíritu de trabajo innovador y colaborativo. Asimismo, promover el desarrollo de estrategias operativas para lograr el incremento de productividad a través de un aprovechamiento más eficiente de los servicios, buscando además una reducción del impacto medioambiental.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Desarrollar una herramienta, cimentada en un juego no cooperativo (utilizando una estrategia de subasta doble) que permita una gestión eficiente de los servicios involucrados en una red conformada por varias empresas radicadas en un IP, definiendo el proceso de coordinación entre los agentes interconectados, y mecanismos de negociación, en el marco de una supervisión o monitoreo por un agente de mayor jerarquía.
- b) Desarrollar un mecanismo de negociación que permita a las industrias de un IP, en base a su consumo, generación, transformación, almacenamiento e intercambio de servicios, cuantificar sus demandas y ofertas de CS en términos de costo y

cantidad, a efectos de obtener una solución que beneficie conjuntamente a todos los actores involucrados.

- c) Extender el mecanismo de negociación, para atender distintas configuraciones de servicios o recursos y puedan participar múltiples empresas de un IP.
- d) Desarrollar un conjunto de indicadores que permitan comparar la estrategia de negociación propuesta con la actual (contratos de CS fijos).
- e) Evaluar la herramienta desarrollada en un grupo de empresas, radicadas en el IP de Rafaela, en la Provincia de Santa Fe

1.4 Breve descripción de los contenidos de cada capítulo

El documento está organizado de la siguiente manera:

- Capítulo 1: enuncia el problema, define el alcance, establece las hipótesis y los objetivos de la tesis.
- Capítulo 2: resume el estado del arte, partiendo de los conceptos teóricos necesarios para el desarrollo de la tesis, estos son: IP y tipos de empresas radicadas, estrategias de gestión de servicios o recursos en los IP, negociación de servicios o recursos en los IP, y se analiza las contribuciones propuestas por diferentes autores con referencia en teoría de juegos como herramienta de negociación.
- Capítulo 3: se desarrolla el mecanismo de negociación propuesto para la asignación de precios y fracciones de CS, para los diferentes agentes participantes; se plantea un esquema y un pseudocódigo, y se presenta una serie de casos de estudios, para facilitar su comprensión.
- Capítulo 4: se establece un marco conceptual, que se utiliza para capturar algunos de los aspectos previamente detallados, y se ofrece una propuesta de valor, atendiendo a las distintas configuraciones de los servicios o recursos, se presentan diagramas de proceso y un pseudocódigo, para facilitar su comprensión en el marco de un IP.
- Capítulo 5: se presenta, desarrolla, simula y valida un caso de estudio simplificado para cada uno de los servicios actuales disponibles (energía eléctrica, gas natural, y agua potable y efluentes), de un IP local.
- Capítulo 6: resume las conclusiones globales y finales de la tesis y los trabajos futuros.

2 Estado del arte

2.1 Introducción

El desarrollo industrial ha traído ganancias rápidas en riqueza y prosperidad durante los últimos siglos. Sin embargo, también ha dado lugar a varios problemas ambientales no deseados, como el calentamiento global, el agotamiento de la capa de ozono, la deforestación, otros [8]. En respuesta a tales problemas, los formuladores de políticas han sancionado fuertes impuestos y regulaciones sobre contaminación para presionar a las corporaciones a buscar enfoques más sostenibles hacia el desarrollo industrial [9]. El deseo de construir una industria sostenible ha llevado al surgimiento del concepto de simbiosis industrial (IS). IS se origina en el concepto de ecología industrial (IE), que fue popularizado por Frosch y Gallopoulos [10] en base a su analogía con los flujos simbióticos en ecosistemas naturales. IE enfatiza la importancia de los beneficios potenciales que surgen de las interacciones simbióticas entre varias plantas industriales. En particular, los residuos generados en un proceso de producción se pueden utilizar como materias primas en otro. Ejemplos formativos de dicha red simbiótica incluyen el conocido complejo IS de Kalundborg en Dinamarca [11], el complejo de bioenergía Handelö en Suecia [12], el Parque Ambiental en Turín, Italia [13], y el Parque Tecnológico del País Vasco [13]. Cuando se implementa con éxito, IS reduce el desperdicio general de todo el sistema, así como el consumo de materia prima y energía [14]. Dado que tales relaciones simbióticas ocurren normalmente entre procesos ubicados dentro de la misma vecindad, surgió el concepto de parques eco-industriales (EIP) [15]. Debido a la proximidad geográfica, es más probable que las plantas en un EIP cooperen a través de programas de intercambio de infraestructura, materiales, agua y energía. Como resultado, el beneficio colectivo siempre será mayor que la suma de los beneficios individuales que se podrían lograr sin establecer una relación simbiótica en un EIP. En este sentido, se han desarrollado varios enfoques sistemáticos para diseñar infraestructura compartida en EIP [16].

2.2 Parques industriales y tipos de empresas radicadas

Uno de los paradigmas que se orientó a explicar la organización de la industria sobre el espacio local y regional e incluso es considerado como el que fundamenta la conformación de los IP, fue la teoría del distrito industrial planteada por Alfred Marshall [17]. Esta teoría contribuyó y complementó los planteamientos de la geografía

económica, al argumentar que cuando las empresas se aglomeran para formar IP, éstas empiezan a manifestar algún tipo de vínculo e interacciones, los cuales, al densificarse, forman redes locales que pueden llegar a configurar sistemas productivos geográficamente localizados.

A medida que las empresas interaccionan, se empieza a construir un sistema de relaciones internas y externas indispensables para establecer nuevas lógicas de producción fuera de los núcleos tradicionales; descentralizando procesos o unidades de producción, que, al asentarse en otros territorios, buscan ser más competitivos, crear conglomerados industriales para tornar más eficiente el uso de recursos y de los factores productivos, así como para crear una base de producción sustentable en el tiempo.

Asimismo, las redes que se forman en el interior de los IP dan origen a las economías externas, que es una característica esencial de dichas agrupaciones de empresas. En este sentido, Marshall sostuvo que era inconcebible el desenvolvimiento aislado de las industrias, pues, para que éstas pudieran operar eficientemente, era necesario establecer entre ellas interacciones horizontales, verticales o diagonales con otras firmas. Luego, al intensificarse estas interacciones, tanto entre las industrias de un IP como entre conjuntos de ellas, llegan a conformar lo que finalmente se denomina un distrito industrial [17].

Además, es necesario establecer redes o vínculos entre las empresas y otros actores del entorno, como: el gobierno, otros territorios, individuos, grupos sociales, productores, empresas de abastecimiento, entre otros, para intercambiar información, conocimientos y decisiones, siendo la base para la conformación de los sistemas productivos industriales, cuya característica esencial es la complementariedad productiva [17]. Este tipo de interacciones, de acuerdo a los planteamientos marshallianos, es la base del funcionamiento no sólo de las industrias, sino de los diferentes conglomerados como los IP, que buscan la proximidad espacial y la continua creación de densas redes de producción, así como la configuración de sistemas de producción industriales.

Respecto de la geografía industrial, además de la organización de la industria sobre el territorio, también es necesario identificar la estructura y las estrategias de las industrias, como premisas para comprender los impactos económicos (nivel de producción y productividad, beneficios y excedentes, y comportamiento del mercado), laborales (especialización de la fuerza de trabajo, retribuciones, prestaciones y beneficios adicionales), y territoriales (localización de nuevas actividades económicas, interacción

regional e impactos ambientales). De aquí que estos ambientes de producción, dependen en gran medida de la disponibilidad y calidad de la infraestructura industrial, de los costos de producción, de los servicios peri-industriales y de la intervención del estado como regulador de los diferentes agentes que intervienen en este ambiente productivo.

El sistema productivo conformado por IP, como área donde se registra una destacada presencia de pequeñas y medianas empresas (PyME), surge a partir de iniciativas locales, especializadas en algún tipo de actividad o producto que otorga personalidad al área, cuyo rasgo más relevante es la fragmentación del proceso productivo entre esas industrias que realizan tareas especializadas y mantienen estrechas relaciones entre sí, ya sea a través del mercado o mediante el establecimiento de redes de cooperación para obtener beneficios conjuntos y poder competir con las grandes industrias.

2.3 Requerimientos energéticos y naturales típicos.

Los desarrolladores y administradores de IP actualmente integran a sus trabajos ciertas cuestiones, tales como: i- condición de compensación de emisiones, ii- electricidad verde, y iii- un uso racional de la energía en edificios e instalaciones [18].

Los IP hacen uso, administran y realizan el gerenciamiento de los siguientes servicios, recursos, e infraestructuras comunes:

- servicios energéticos (SE): electricidad, combustibles gaseosos (gas natural, hidrógeno, otros) combustibles líquidos, vapor de proceso, aire comprimido, recursos naturales, cogeneración, trigeneración, otros.
- servicios no energéticos (SNE): agua potable, efluentes, agua caliente sanitaria, pluviales, gases industriales (dióxido de carbono, nitrógeno, argón, otros), gestión para el manejo de datos e información (telefonía fija e internet, otros), otros.
- infraestructura: de carreteras, caminos públicos y privados, utilizados para la comunicación terrestre, el tránsito de vehículos, el transporte de: carga, personas y mercancías; para gestión de basura (o desecho) y residuos; para gestión de tratamiento de aguas residuales o depuración de aguas residuales; para centros de distribución y logística; iluminación y seguridad, otros
- Otros.

2.3.1 Estrategias de gestión de la energía y recursos naturales en IP

La gestión de los servicios en los IP consiste en la optimización de su uso, buscando un uso racional y eficiente, sin disminuir el nivel de prestación. Para los IP, en materia de gestión, podemos mencionar:

a- *Ecología Industrial (Industrial Ecology, IE).*

La IE es el estudio de los flujos de materiales, recursos y energía (ejemplo los SE y SNE) a través de sistemas industriales, es un campo de investigación multidisciplinario joven, pero en crecimiento. El nombre proviene de la idea de una analogía con los sistemas naturales, los cuales deberían utilizarse como ayuda para comprender cómo diseñar sistemas industriales sostenibles. Uno de los principios centrales de la IE es la visión de que los sistemas sociales y tecnológicos están delimitados dentro de la biósfera y no existen fuera de ella. La ecología se utiliza como metáfora debido a la observación de que los sistemas naturales reutilizan materiales y tienen un ciclo de nutrientes en gran parte cerrado. La IE aborda los problemas con la hipótesis de que mediante el uso de principios similares a los de los sistemas naturales, los sistemas industriales pueden mejorarse para reducir también su impacto en el medioambiente natural [19].

La IE examina los problemas sociales y su relación tanto con los sistemas técnicos como con el medioambiente. A través de esta visión holística, la IE reconoce que la resolución de problemas debe implicar la comprensión de las conexiones existentes entre estos sistemas, y que varios aspectos no pueden verse de forma aislada. A menudo, los cambios en una parte del sistema general pueden propagarse y causar cambios en otra parte. Por lo tanto, solo se puede comprender un problema si observa sus partes en relación con el todo. Un último principio importante de la IE es su enfoque integrado. La IE tiene en cuenta tres disciplinas diferentes: ciencias sociales (incluida la economía), ciencias técnicas y ciencias ambientales. El desafío es fusionarlas en un solo enfoque [19].

b- *Eco-Parque Industrial o Parque Eco-Industrial (Eco-industrial Park, EIP).*

Se refiere a una comunidad de empresas de fabricación y servicios que buscan un mejor desempeño ambiental y económico a través de la colaboración en la gestión de problemas ambientales y de recursos, incluidos energía, agua y materiales. Al trabajar en conjunto, la comunidad de empresas busca un beneficio colectivo, que sea mayor que la suma de los beneficios individuales que obtendría cada empresa

si optimizara únicamente su desempeño individual. El objetivo de un EIP es mejorar el desempeño económico de las empresas participantes minimizando su impacto ambiental. Los componentes de este enfoque incluyen el diseño nuevo o modernizado de la infraestructura y las plantas del parque, la prevención de la contaminación, la eficiencia energética y la asociación entre empresas. Mediante la colaboración, esta comunidad de empresas se convierte en un "ecosistema industrial" [20]. En consecuencia, un EIP es un sistema industrial que conserva los recursos económicos; reduce los costos y responsabilidades de producción, materiales, energía, agua, seguros y tratamientos; mejora la eficiencia operativa, la calidad, la salud de los trabajadores y la imagen pública; y brinda oportunidades para la generación de ingresos por el uso y la venta de materiales desechados [21]. Además, en un EIP las empresas cooperan entre sí y con la comunidad local en un intento de reducir los desechos y la contaminación, compartir recursos de manera eficiente (como información, materiales, agua, energía, infraestructura, otros) y ayudar a lograr el desarrollo sostenible, con la intención de incrementar las ganancias económicas y mejorar la calidad ambiental [18] [21]. La zona de interés detectada es la cooperación interempresarial en temas como: compra colectiva de servicios, la recolección y procesamiento colectivos de materiales de empaque y residuos sólidos y, posiblemente, la generación colectiva de servicios, resaltando que presentan menos interés en el intercambio de calor (ejemplo vapor, otros), preferencias válidas tanto para una agrupación industrial, como un IP o IP mixto, siendo la preferencia de forma voluntaria [18].

c- *Simbiosis Industrial (Industrial Symbiosis, IS).*

La IS es un subconjunto de la IE, que describe cómo una red de organizaciones diversas puede fomentar la ecoinnovación y el cambio cultural a largo plazo, crear y compartir transacciones mutuamente rentables y mejorar los procesos comerciales y técnicos [22], con un enfoque particular en el intercambio de materiales y energía. La IS involucra industrias tradicionalmente separadas en un enfoque colectivo para la ventaja competitiva que implica el intercambio físico de materiales, energía, agua, y subproductos. Las claves de la IS son la colaboración y las posibilidades sinérgicas que ofrece la proximidad geográfica, donde se requiere una planificación estratégica para optimizar las sinergias de la ubicación. Los sistemas de IS optimizan colectivamente el uso de materiales y energía con eficiencias más allá de las que se pueden lograr con cualquier proceso

individual por sí solo. La IS esperada en función de la integración de flujo de energía entre empresas es fundamentalmente diferente de la integración de flujo de material entre empresas [18]:

- ciertas clases de energía de uso final, por ejemplo, la electricidad y el calor requerido en los procesos, difícilmente se pueden almacenar, lo que requiere producción y demanda simultáneas;
- vincular los flujos de energía, a menudo requiere la instalación de hardware específico, como tuberías de vapor, lo que genera inversiones considerables y pérdidas de calor, que aumentan con la longitud de la tubería;
- el material o mercancía como medio intercambiable es mucho más diverso que la energía.

En la práctica, el uso de la IS como enfoque de las operaciones comerciales — utilizar, recuperar y redirigir los recursos para su reutilización— da como resultado que los recursos permanezcan en uso productivo en la economía durante más tiempo. Esto, a su vez, crea oportunidades comerciales, reduce la demanda de los recursos de la tierra y proporciona un trampolín hacia la creación de una economía circular. A menudo, el acceso a la información sobre los subproductos disponibles es difícil de obtener. Estos subproductos se consideran desechos y, por lo general, no se comercializan ni cotizan en ningún tipo de intercambio. Sólo un pequeño grupo de mercados de residuos especializados se ocupa de este tipo particular de comercio de residuos. En IS, las empresas desarrollan relaciones para mejorar el uso de los recursos y reducir sus impactos medioambientales de manera conjunta. En la misma línea, se puede entender la IS como aquella que permite beneficios de los recursos sobrantes, disminuyendo el costo de la gestión de residuos y de materias primas, y además de reducir el impacto ambiental.

La agrupación por energía es un problema de optimización local que según se cree puede proporcionar grandes beneficios. Las ventajas corporativas se pueden encontrar, en primer lugar, en una reducción de los gastos de capital y operativos, dados por [18]:

- costos de instalación reducidos a través de economías de escala, mayor eficiencia de producción de instalaciones a gran escala (por lo tanto, se necesita

menor capacidad), accesibilidad a técnicas más eficientes, subcontratación de inversiones en instalaciones de energía;

- costos de combustible reducidos, como un precio de energía reducido al agrupar la demanda de energía (mayor volumen, curva de carga de consumo —y producción— de energía más uniforme), a través de una mejor accesibilidad del uso de energía renovable, a través del intercambio de pérdidas de energía útil;

- menores costos de mantenimiento a través de economías de escala, mayor accesibilidad de servicios profesionales, menor pérdida de tiempo de inactividad a través de un mejor mantenimiento;

- costos netos reducidos como costos unitarios netos más bajos a través de la absorción (e inyección) del sistema de distribución de energía (mayor volumen, curva de carga más uniforme), a través de una mayor posibilidad de autonomía energética;

- impuestos reducidos o subsidios.

2.3.2 Negociación de servicios: energéticos y no energéticos.

Los EIP mencionados anteriormente pueden resultar infructuosos si no se satisface el interés propio de cada empresa participante. En realidad, cada empresa participante en un EIP tiene objetivos individuales únicos que pueden entrar en conflicto con otros socios potenciales [23]. Este aspecto no es abordado adecuadamente por muchas técnicas convencionales. En este contexto, conceptos de la teoría de juegos se utilizaron para determinar costos y beneficios de los agentes en función de sus estrategias.

i- Servicios no energéticos.

Un tipo de negociación que se encuentra comúnmente en la literatura es la integración de agua entre plantas en los EIP [16], con referencia a infraestructura compartida. En el área de la integración de agua entre plantas, varias contribuciones se enfocaron en minimizar los caudales de agua potable [24], los caudales de regeneración y tratamiento de desechos [25] [26], así como emergencias para la reutilización del agua [27]. Mientras tanto, otros trabajos se enfocaron en minimizar los impactos ambientales [28] y los costos totales anualizados [29]. Más recientemente, Aviso [30] presentó un enfoque de optimización robusto para determinar una red de agua entre plantas óptima que puede operar en múltiples escenarios, como cambios en las condiciones del proceso, número de

plantas, calidad del agua, otros. Varias contribuciones han propuesto modelos de optimización matemática que consideran la satisfacción de los participantes en los EIP. Por ejemplo, en el trabajo de Aviso et al. [31] [32] se presentó un modelo de optimización difusa de dos niveles para optimizar el agua, la reutilización de aguas residuales en un EIP basado en los objetivos individuales de cada participante y se introdujo el papel de un agente externo (gobierno) para inducir la cooperación entre empresas.

Además de los métodos de optimización matemática, se han presentado enfoques basados en la teoría de juegos para considerar los intereses en conflicto en los EIP [16]. La teoría de juegos es un marco que modela matemáticamente el comportamiento de múltiples partes con intereses potencialmente conflictivos en varios dominios [33]. Por ejemplo, Chew et al. [34] presentaron un enfoque de teoría de juegos para la integración del agua entre plantas y demostraron cómo los incentivos ayudan a inducir la cooperación en un EIP.

ii- Servicios energéticos

Además de la integración de agua entre plantas, varias contribuciones han considerado el diseño de redes de energía para un EIP [16]. Al respecto, se pueden citar: redes de calor residual [35] y suministro [36], biorrefinerías [37], planta de energía de vapor [38], y un sistema central para red de suministro [39] utilizando la integración total del sitio [40]. Mientras tanto, otras contribuciones se centraron en aspectos como la mejora de la producción [41] y el análisis de la criticidad de los sistemas [42] [43] en EIP basados en bioenergía.

Un desafío importante también lo presentan el desarrollo de redes eléctricas inteligentes. Un enfoque basado en la teoría de juegos se adoptó para el control de fuentes/cargas individuales, lográndose mejorar la fiabilidad y la solidez de un sistema de potencia sin utilizar un control central [44]. Por otra parte, se propuso una nueva técnica basada en la teoría de juegos Cooperativa para gestionar la energía generada por turbinas eólicas y optimizar las ganancias [45]. También se estudiaron la compensación de potencia reactiva con el objetivo de optimizar la generación en parques eólicos [46], y el despacho económico de energía y reservas en mercados competitivos mediante algoritmos meta-heurísticos [47] [48]. Un modelo de juego estratégico se desarrolló para analizar un oligopolio dentro de un mercado de energía con varias restricciones a nivel de la red [49]. La planificación de la expansión de una red, tanto en transmisión como en

generación, se estudió utilizando tres niveles de la teoría de juegos [50]. Un enfoque integral para la evaluación de los mercados de electricidad permitió investigar el impacto de varias restricciones sobre el equilibrio del mercado, utilizando para ello el sistema de prueba IEEE de 30 buses [51]. La comercialización de energía entre productores y consumidores se investigó recientemente en base a un modelo de subasta doble (SD) [52]. Para ello, se utilizó una estrategia de licitación que consideró las características y limitaciones técnicas de los diferentes dispositivos componentes de una microrred eléctrica (por ejemplo, vehículos eléctricos, sistemas de microgeneración, y bombas de calor). Los vehículos eléctricos híbridos conectables a la red (PHEV) constituyen elementos clave en el emergente sistema de redes inteligentes. Por ejemplo, se estudiaron los complejos procesos de toma de decisiones de una serie de grupos de PHEV que buscan vender parte de su energía almacenada en un mercado energético [53], donde el precio de negociación que rige en el mercado de intercambio de energía entre los PHEV y la red se determinó utilizando un mecanismo de SD. Para resolver el juego, se propuso un algoritmo basado en la dinámica de mejor respuesta, con el cual los grupos PHEV pueden alcanzar un punto de equilibrio de Nash. Las SD han sido ampliamente utilizadas en los mercados de acciones, bonos y divisas [54]. El comercio entre microrredes eléctricas interconectadas se investigó en base a un mecanismo de SD combinatoria, utilizándose algoritmos híbridos que combinan algoritmos genéticos con métodos de optimización por enjambre de partículas [55]. Otros autores propusieron una SD distribuida asistida por blockchain para facilitar el comercio de energía entre pares y garantizar la seguridad de los datos involucrados en la transacción. Este planteo apuntó a mitigar algunas desventajas de la gestión tradicional de transacciones basada en organizaciones centralizadas, como por ejemplo el alto costo de operación, la baja transparencia y el riesgo potencial de modificación de datos [56] [57].

2.4 Teoría de juegos: una herramienta para negociar

La teoría de juegos es el estudio de las formas en que las elecciones interactivas de los agentes económicos producen resultados con respecto a sus preferencias (o utilidades). Un componente central en esta teoría es el uso de modelos. Un modelo puede describirse como un conjunto ficticio de circunstancias que se utilizan para comprender observaciones y experiencias. Los juegos en los cuales se centra este trabajo son juegos no cooperativos, con dos o más jugadores que tienen dos o más estrategias, y donde cada estrategia tendrá un resultado diferente según las estrategias que usen los otros jugadores.

Los juegos no cooperativos son juegos en los que cada jugador solo se centra en mejorar su propia recompensa, y a menudo los jugadores están restringidos de tal manera que no pueden comunicarse y organizar una estrategia juntos [58].

Las subastas, constituyen quizá la principal aplicación de los juegos no cooperativos, estáticos, con información incompleta. En una subasta, se presume que algunos objetos están a la venta. Los participantes pueden pujar por esos artículos de diferentes formas, según el tipo de subasta en la que se encuentren. El resultado del juego (quién o quiénes han de recibir el bien y quién o quiénes, y cuánto, han de pagar) queda completamente determinado por la información suministrada en forma de pujas. Cada resultado del juego determinará la situación final para cada participante, que dependerá de que reciba o no el bien. En caso de recibirlo, habrá un beneficio, es decir, una diferencia entre el valor que dicho participante atribuye al bien (cantidad máxima que estaría dispuesto a pagar por él) y el gasto que le ocasiona (cantidad que efectivamente debe pagar). El valor que cada jugador o participante atribuye al bien subastado, también denominado valoración, es una cantidad que, en la mayor parte de las situaciones, él y sólo él conoce, y que los demás jugadores sólo pueden conjeturar [58]. Un caso particular para subasta, es la subasta doble (*double auction*), que básicamente es un procedimiento de venta en el que compradores y vendedores presentan ofertas y solicitan precios a un *Subastador* en forma simultánea, y ese *Subastador*, mediante la aplicación de un procedimiento, determina un precio de compensación para la venta [59].

2.4.1 Casos descritos en la bibliografía.

Un desafío importante para las redes inteligentes de los EIP lo constituye el proceso de toma de decisiones relacionadas con la comercialización de servicios, el cual implica usualmente interacciones complejas entre los distintos actores y componentes de la red. En este contexto, conceptos de la teoría de juegos se utilizaron para determinar costos y beneficios de los agentes en función de sus estrategias. Las aplicaciones principales se han centrado en los juegos cooperativos (o de coalición), habiéndose utilizado métodos de valor Shapley o valor Shapley bilateral —BVS—, Kernel y nucléolo. Los juegos no-cooperativos (o estratégicos) fueron menos utilizados y están asociados a una motivación individualista de los agentes, y no a las consecuencias de sus decisiones. La interacción entre los agentes participantes puede no ser de mutua colaboración, pero es posible inducirla mediante el diseño de mecanismos e incentivos [60].

Taskhiri et al. [61] desarrollaron un enfoque similar al de Aviso et al. [31] [32] para optimizar la asignación de residuos a los flujos de energía en un EIP. Ng et al. [62] presentaron un enfoque de programación difusa para considerar los objetivos individuales de múltiples propietarios en lugar de solo un propietario [63]. Este enfoque se extiende luego a la programación difusa disyuntiva para determinar las vías óptimas en función de los objetivos de cada propietario y permitir el retiro si no se satisface algún objetivo [64]. Wang et al. [65] introdujeron un enfoque novedoso para analizar la estabilidad del sistema EIP basado en la distribución equitativa de los beneficios y los costes de la simbiosis. Definieron la estabilidad como la tendencia de la coalición de empresas en un EIP a permanecer intacta sobre la base de consideraciones de equidad. Este enfoque implica que un sistema de IE es estable mientras ningún socio asuma una parte desproporcionada de los costos de simbiosis en relación con los beneficios obtenidos de la cooperación; de lo contrario, una empresa que se encuentre en una posición desfavorable se verá expuesta a retirarse de la coalición. Esta misma idea es posteriormente adaptada por Ng et al. [66] para analizar la estabilidad de cada planta participante en un complejo de procesamiento de aceite de palma (Ng et al. [64]). En Hiete et al. [67] adaptaron el valor de Shapley [68] para asignar los ahorros de energía entre socios en función de sus contribuciones marginales en un EIP de bio energía y pulpa leñosa. Zhang et al. [69] presentaron una formulación matemática basada en el enfoque de la solución de negociación de Nash para distribuir de manera justa los costos entre las instalaciones en una microrred general. Más recientemente, Tan et al. [70] desarrollaron una estrategia de teoría de juegos utilizando el método de Maali [71] para asignar beneficios entre los participantes en un EIP. Tan et al. [70] también concluyeron que el método de Maali [71] se puede utilizar como un enfoque alternativo al valor de Shapley [68] para asignar beneficios (por ejemplo, ahorros de energía, ahorros de costos, ganancias, etc.) en un EIP. Sin embargo, la asignación de beneficios por sí sola sería inadecuada para garantizar una coalición EIP estable. La estabilidad en el contexto de los EIP se refiere a la solidez de una coalición de EIP frente a los cambios en los costos asociados con la inversión y las operaciones [72] [73]. En una coalición, cada planta es propensa a desviaciones en los costos de simbiosis. El costo de simbiosis es el costo de inversión que requiere cada planta para participar en el intercambio de material y energía con otras plantas en un EIP. Los costos de simbiosis pueden incluir gastos de transporte, tuberías e instrumentación, envío, mano de obra, sistemas de transporte, etc. Si se ignoran las desviaciones en los costos de simbiosis, los cambios en los márgenes de ganancia pueden causar insatisfacción entre las partes

interesadas de la planta y, en consecuencia, alterar la estabilidad general de la coalición. Así, Andiappan et al. [13] ampliaron la contribución de Tan et al. [70] al proponer un marco de negociación basado en la optimización que es capaz de analizar la estabilidad de las coaliciones de EIP. En este marco mejorado, el modelo de juego cooperativo de Maali se adapta para distribuir racional y justamente los ahorros de costos anuales combinados entre las plantas participantes en un EIP en función de sus respectivas contribuciones [71]. En [13] también se utiliza un método de análisis de estabilidad desarrollado por Wang et al. [65], con el fin de investigar el umbral de estabilidad de una coalición EIP. El umbral de estabilidad mide la solidez de la coalición ante desviaciones en supuestos claves relacionados con los costos de simbiosis. Además, el umbral de estabilidad funciona como base de negociación cuando los costos de simbiosis quedan fuera del rango factible o cuando se anticipan cambios en los costos en el futuro. Dicha función ofrece implicaciones prácticas y significativas, ya que permite a las partes interesadas tomar decisiones de gestión informadas con respecto no solo a las interacciones actuales de la planta, sino también a las futuras en un EIP.

2.4.2 Aspectos de interés no detectados en la bibliografía.

Muchas actividades industriales se desarrollan en una misma área geográfica o en predios industriales, donde se radica un conjunto de sistemas productivos integrado por diferentes empresas autónomas y heterogéneas, siendo indudablemente la energía un recurso crítico, y si bien se encuentran interesadas en colaborar, operan con diferentes intereses. La posibilidad de hacer intervenir diferentes formas de provisión de los servicios ha conducido al planteo de problemas de planeamiento y optimización, que involucran tanto aspectos económicos como ambientales [74]. Los componentes económicos están usualmente ligados al costo de los combustibles, políticas tarifarias, criterios de compra-venta, otros. Los componentes ambientales se refieren normalmente a la emisión de contaminantes. En algunos casos, las redes integran centros de generación, consumo y almacenamiento muy variados, incluyendo industrias, comercios, edificios, barrios residenciales, etc. Los problemas tienden a establecer criterios de gestión óptima de las redes, con participación de todos sus integrantes, con la inclusión de restricciones, planificación de la demanda y criterios de negociación, entre otros. La resolución de estos problemas se encara muchas veces a través de la formulación de problemas tipo MILP (*Mixed Integer Linear Programming*) o MINLP (*Mixed Integer Non-Linear Programming*), entre otras alternativas [75].

La tarea de interés detectada para esta tesis, consiste en proveer —a un conjunto de empresas radicadas en un parque industrial— una estrategia de gestión operativa que les permita incrementar su productividad, a partir de la idea general de aumentar la eficiencia en el uso de los servicios. Las empresas pueden, además, ser supervisadas por una entidad de mayor jerarquía. Para ello, se vislumbra como alternativa de estudio, la propuesta de conformar una red de empresas, y desarrollar una estrategia innovadora para la gestión de dichos servicios. Por ello, se entiende como promisorio el uso de teoría de juegos. Dicha teoría se puede utilizar para estudiar situaciones de conflicto y de cooperación —a las que se denominan juegos— en las que interactúan participantes racionales tales como empresas y microrredes, entre otros. Para cada uno de estos participantes es posible analizar los comportamientos y resultados que se esperan mediante decisiones individuales (juegos no cooperativos) o luego de acuerdos entre ellos (juegos cooperativos) [58]. Un beneficio extra resultante es la reducción del impacto ambiental ocasionado por la operación de esta red de empresas.

2.5 Focalización de los contenidos de la tesis

Se propone desarrollar una herramienta de gestión de SE y SNE que tenga los siguientes requerimientos funcionales: (i) proveer componentes genéricos y reusables para generar diferentes tipos y tamaños de redes; (ii) permitir realizar a una empresa las siguientes actividades: comprar, vender, generar, transformar o almacenar los SE (energía eléctrica, gas natural, combustibles líquidos, vapor de proceso y aire comprimido, entre otros) y los SNE (agua potable, otros); (iii) permitir adaptar las actividades de una empresa en función de su perfil de comportamiento y de sus preferencias, tales como minimizar costo o impacto ambiental; (iv) permitir definir reglas de funcionamiento, objetivos generales, negociación y políticas de expansión para la red interconectada.

De particular interés a esta tesis resulta el estudio de negociación de los SE y SNE entre empresas radicadas en un IP o EIP. El planteo de la negociación puede, como mínimo, ser realizado bajo dos enfoques: 1) cuando solo se establece una negociación sobre un tipo único de SE o SNE; y 2) cuando la negociación puede implicar la existencia de múltiples tipos de SE y SNE. Más aún, también podría incorporarse como elemento adicional la negociación de la capacidad de almacenamiento/transformación de algunos de los SE y SNE antes comentados. Estos enfoques serán objeto de los Capítulos siguientes.

3 Mecanismo para la negociación de la capacidad de suministro

3.1 Introducción

En una red de distribución de servicios, la Capacidad de Suministro (CS) se define a la energía por unidad de tiempo, que una Empresa Distribuidora de Servicio (EDS), pone a disposición de un cliente durante un período de tiempo establecido por contrato. Este trabajo focaliza el estudio en el contexto de un IP donde residen varias empresas. En este caso, la CS de la EDS se la entiende como a la energía máxima, por unidad de tiempo, puesta a disposición del conjunto de industrias del parque durante un período de tiempo establecido por contrato, en el punto de entrega identificado en el extremo del Alimentador Principal (AP). El concepto de AP debe asociarse al canal o medio de suministro emergente de la EDS que es utilizado para proveer a las empresas el servicio ofrecido. En esta situación, las industrias participantes serán interpretadas como agentes racionales que poseen incentivos o motivaciones disímiles; y la CS se la acepta lo suficientemente flexible como para poder ser negociada entre los agentes participantes del juego.

El presente capítulo utiliza varios conceptos del artículo de McAfee [76], quien desarrolló un protocolo de SD compatible con incentivos de estrategia dominante, el cual renuncia a la eficiencia de Pareto [59]. En comparación con otros trabajos relacionados a mercados en redes inteligentes [45] [51] [77] [78] [79], y particularmente con respecto a [76] [59], en este artículo se pretende avanzar en los siguientes objetivos: 1) permitir a los participantes decidir estratégicamente el precio y las fracciones de CS que desean ofrecer o comprar; 2) optimizar la CS ociosa o inactiva de cada participante y la disponibilidad del AP; y 3) garantizar que se alcance un punto de equilibrio para juegos que muestran una discontinuidad en la función de utilidad, debido a la presencia de un modelo de subasta subyacente y a diferencia de los modelos clásicos que a menudo asumen utilidades continuas. En este contexto, se propone un marco estratégico que apunta a gestionar de manera eficiente las necesidades en SE y SNE de un grupo de empresas radicadas en un IP, donde cada SE y SNE es provisto por la EDS a través del AP único. Se utiliza un juego no cooperativo para asignar precios y fracciones de CS, utilizando un mecanismo de SD donde cada participante elige estratégicamente la fracción de CS que desea vender o comprar. El incentivo para la EDS consistirá en maximizar sus beneficios, procurando optimizar la disponibilidad del AP. El incentivo

para cada industria consistirá en minimizar el costo de la CS, buscando para ello reducir su CS ociosa. En tal sentido, el diseño y la implementación de un procedimiento iterativo procurarán atender a los incentivos mencionados y al mismo tiempo alcanzar convergencia y estabilidad de los resultados.

3.2 Conceptualización de la capacidad de suministro

La CS es puesta a disposición por la prestataria del servicio en función de lo declarado por el usuario. Según la naturaleza del servicio (público o no público), la CS puede tener distintas acepciones. Por ejemplo, en el ámbito de la provincia de Santa Fe (Argentina), para la provisión de energía eléctrica, gas natural y agua potable y efluentes, se tienen los casos que se detallan a continuación:

- i- **Provisión de energía eléctrica.** La Empresa Provincial de Energía de Santa Fe (E.P.E.S.F.) define: “...*capacidad de suministro en pico y la capacidad de suministro fuera de pico, a las potencias en kW, promedio de 15 minutos consecutivos, que la E.P.E.S.F. pondrá a disposición del usuario durante doce meses en cada punto de entrega en los horarios “en pico” y “fuera de pico” que serán coincidentes con los fijados para el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM)...*” [80]. Esta CS forma parte de la tarifa, y el Ente Regulador es el Ministerio de Infraestructura, Servicios Públicos y Hábitat, de la provincia de Santa Fe.
- ii- **Provisión de gas natural.** La Empresa Prestataria de Suministro de Gas Natural (para Santa Fe, la prestataria es Litoral Gas), lo define como Capacidad Diaria Reservada o Reserva de Capacidad, y según el tipo de contrato celebrado, forma parte del cálculo de la tarifa o no: “...*(c) Determinación de la Unidad de Facturación: La unidad de facturación del Gas entregado de conformidad con estas Condiciones Generales será el metro cúbico. El cargo por metro cúbico consumido a facturar se determinará multiplicando el número de metros cúbicos de Gas entregado por el Poder Calórico del Gas entregado expresado en kilocalorías dividido por 9.300. Este procedimiento, no será de aplicación a los cargos fijos por factura, a la factura mínima para los servicios R y P, y a los cargos por reserva de capacidad de los servicios G, FD, y FT...*”, donde el metro cúbico se expresa bajo condiciones normales de presión y temperatura [81]. El Ente Regulador es el Ente Nacional Regulador del Gas (ENARGAS).

- iii-* **Provisión de agua potable y acceso a efluentes.** La Empresa Prestataria de Agua Potable y Efluentes (para Santa Fe, la prestataria es Aguas Santafesinas), lo declara como Capacidad Hidráulica, y en principio no forma parte del cálculo de la tarifa. El Ente Regulador es el Ente Regulador de Servicios Sanitarios (ENRESS), de la Pcia. de Santa Fe [82].

En los casos que la CS se incluya en la tarifa final del consumidor, la misma forma parte de los costos fijos de cada Empresa. En el presente trabajo, los costos en CS se transforman en costos variables, y se los considera como elementos de negociación para los IP.

3.3 Planteo del problema

Se asume la existencia de un IP que alberga N industrias con perfiles de consumo intensivos, en correspondencia con el servicio elegido. En cada período de tiempo (t), la industria n ($= 1, \dots, N$) tiene contratada una fracción de CS, $CS(n, t)$, de la capacidad de suministro de la EDS a través del AP, $CS(t)$, de manera que:

$$CS(t) = \sum_{n=1}^N CS(n, t) + CSR(t) \quad (3.1)$$

donde $CSR(t)$ es la CS remanente en el período t que dispone la EDS para una eventual asignación futura a otra industria o a un tercero externo al parque industrial. Es importante notar que deben cumplirse las siguientes restricciones:

$$CSR(t) \geq 0, \quad \forall t \quad (3.2.a)$$

$$CS(n, t) \geq P(n, t), \quad \forall t, \forall n = 1, \dots, N \quad (3.2.b)$$

donde $P(n, t)$ representa la potencia demandada por la industria n en el período t (por ejemplo, la potencia eléctrica si se tratara del servicio de energía eléctrica, pero podría ser alternativamente el equivalente en otros tipos de suministros demandados). La violación de la restricción Ec. (3.2.a) implicaría una penalización a la EDS por su incapacidad para satisfacer la demanda; mientras que la violación de Ec. (3.2.b) originaría una penalización a la industria n . En contrapartida, cada industria preferirá contratar una $CS(n, t)$ lo más cercana posible a $P(n, t)$ para así reducir sus costos; mientras que la EDS pretenderá minimizar $CSR(t)$ para maximizar sus ingresos por contratos. Dado que toda industria puede tener un patrón de consumo variable en diferentes períodos de tiempo (por ej., semanal, mensual o estacional), es factible pensar que algunas industrias podrían preferir una estrategia dinámica para sus contratos de asignación de CS, implementados en

períodos de tiempo más breves. De esta manera, cada industria procuraría regular en cada período de tiempo su $CS(n, t)$ para que sea levemente superior a su $P(n, t)$. A su vez, la EDS podría también estar interesada en esta estrategia de negocios, para poder fijar un precio por fracción de CS contratada más elevado cuando la CS contratada sea reducida, y adicionalmente obtener una mayor $CSR(t)$ que le sirviera para continuar ofreciendo y vendiendo CS en vistas a maximizar sus ingresos. Una posible solución al problema planteado puede abordarse con un enfoque de SD. En todo período de tiempo, cada industria conoce su situación energética particular; y en el siguiente período, elegirá estratégicamente la fracción de CS que estaría dispuesta a ofertar o a demandar, y los precios a los cuales pretenderá realizar sus transacciones. De igual manera, la EDS será otro agente participante de la SD, quien también evaluará y propondrá sus intenciones de compra-venta y precios de fracciones de CS. Teniendo en cuenta que tanto las N industrias como la EDS estarán obligadas a participar en cada reapertura de la SD, entonces en el mecanismo de negociación que se presenta en la sección siguiente intervendrán $N + 1$ agentes.

3.4 Generalidades del mecanismo a proponer para negociar CS

En primer lugar, es importante observar que la negociación de CS a considerar en el presente apartado involucra una doble implicancia; esto es, la negociación tanto de las fracciones de CS (como cantidades relativas que se asignarán a cada uno de los participantes), como así también la definición de los precios correspondientes a dichas fracciones. En este contexto, cabe aclarar que la metodología de negociación a proponer contempla ambas aristas, y si bien tiene una estructura procedimental iterativa, considera simultaneidad en la incidencia tanto de las cantidades como de los precios. Es decir, no se resuelven dos problemas independientes en forma secuencial, sino que se utiliza un procedimiento secuencial para resolver el problema conjunto.

La oferta y la demanda de la fracción de CS de potencia de un agente participante j ($= 1, \dots, J \leq N + 1$), así como los precios correspondientes, sólo pueden actualizarse al finalizar el período de tiempo actual (t_0), y serán válidas para el período siguiente (t). La duración de cada período la fija el ente regulador o *Subastador*, quien supervisa, ejecuta y administra el procedimiento de negociación. Para poder definir la distribución de CS y precios entre los participantes, cada uno fija, antes del inicio del nuevo período t , una estrategia de modificación de su situación respecto al período actual t_0 . Luego, se ejecuta un procedimiento que permite la asignación tanto de precios como de CS a los $N + 1$

participantes, y este procedimiento se lo repite hasta alcanzar la solución que regirá para todo el nuevo período t .

La Fig. 3.1 presenta un esquema del procedimiento de asignación de precios y de fracción de CS (PAPYCS), a ejecutarse para cada servicio. Este procedimiento incluye tres algoritmos básicos de ejecución secuencial: 1) el algoritmo de SD (AlgSD), utilizado para determinar el precio al cual se realizarán las transacciones, 2) el algoritmo para asignar fracción de CS (AlgACS), el cual permite determinar, para cada pareja vendedor-comprador (*seller-buyer*) que calzó en la SD, la fracción de CS a la que posiblemente realizarán la transacción, y 3) el algoritmo para mejorar la eficiencia de las transacciones (AlgMET), el cual proveerá los valores finales de las fracciones de CS que mejor aprovechan las CS disponibles por los oferentes.

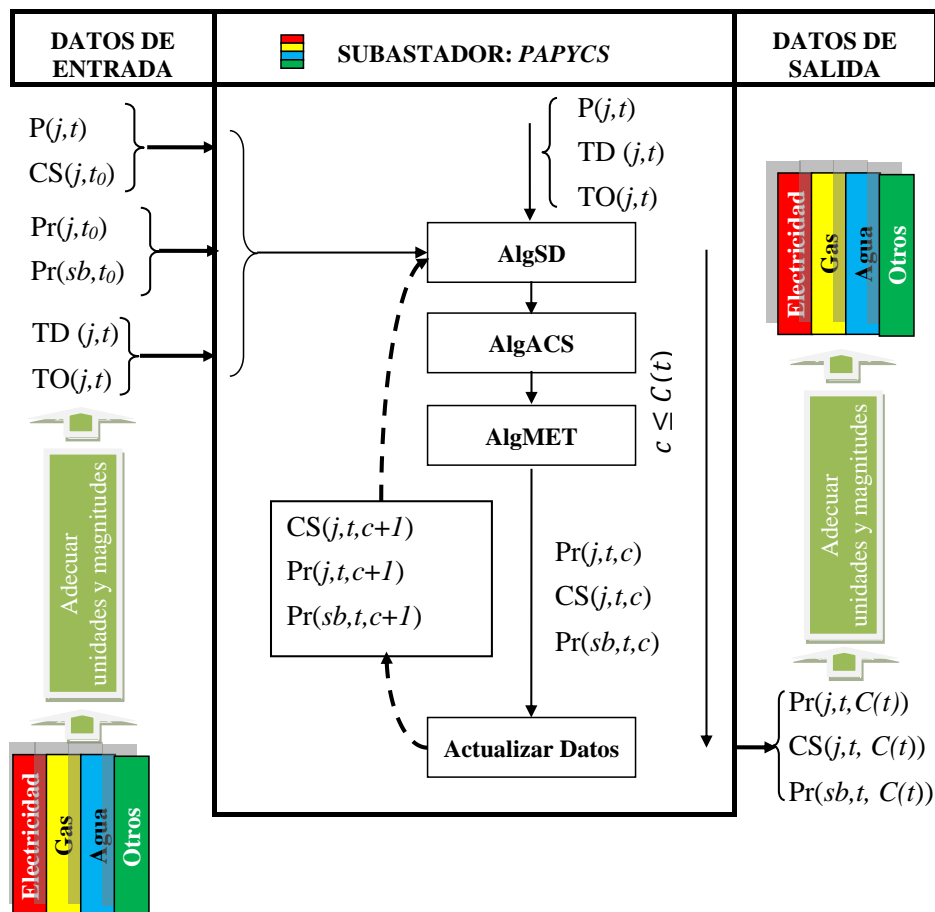


Fig. 3.1: PAPYCS: Procedimiento para asignar precios y fracción de CS al participante j , en el ciclo c del período t , para cada servicio.

A continuación, se describe el PAPYCS. Cada ejecución del PAPYCS se identifica con un ciclo c , y previo a cada período t , se ejecutarán los $C(t)$ ciclos necesarios para obtener un resultado. Al iniciarse cada nuevo período t , se actualizan los siguientes

reportes: 1) la EDS publica sus Tablas de Oferta (TO) y Demanda (TD), y su CS actual, $CS(j, t_0)$, e informa al *Subastador* el precio de contratación correspondiente, $Pr(j, t_0)$; 2) cada industria informa al *Subastador* y a la EDS su $P(j, t)$ y su CS actual, $CS(j, t_0)$, e informa al *Subastador* el precio de contratación correspondiente, $Pr(j, t_0)$, su $TO(j, t)$ y su $TD(j, t)$; y 3) al finalizar los $C(t)$ ciclos, el *Subastador* actualiza e informa la $CS(j, t, C(t))$ y $Pr(j, t, C(t))$ de cada participante j , y su precio, $Pr(sb, t, C(t))$. Entonces, a través del POPYCS, el *Subastador* se ocupa de procesar los datos y de dar a conocer los resultados.

Con el *Subastador* conviven tres clases de datos: a) los que recibe al inicio de cada período t (datos de entrada), b) los que debe informar una vez finalizada la SD, en el mismo período t (datos de salida), y c) los que necesita POPYCS iterativamente en cada ciclo c , para poder realimentarse y volver a ejecutarse: $CS(j, t, c)$, $Pr(j, t, c)$, y $Pr(sb, t, c)$. Además, en cada ciclo c , se asume que cada participante j adopta una única posición (ya sea como vendedor o como comprador de fracción de CS). Bajo este supuesto cada participante j , en el ciclo c del período t , no se puede presentar como comprador y vendedor de manera simultánea para, de alguna manera, manipular los precios de negociación (por ejemplo, a través de ofertas de ventas o compras encubiertas con nombre falso). En consecuencia, la dualidad (que cada participante j , en el ciclo c del período t , se venda y compre a sí mismo) no se presenta, tema que fue abordado en [59]. Cabe aclarar que, cada período t está signado por los valores de $P(j, t)$, dado que representan a las demandas proyectadas por las empresas participantes para el siguiente período, y por lo tanto por el reposicionamiento que cada una de ellas prevé como necesario en términos de su horizonte futuro inmediato.

3.5 POPYCS: Procedimiento para la asignación de precios y fracción de CS

En esta sección se desarrollan los detalles de las diferentes instancias correspondientes al procedimiento propuesto para la negociación, y posterior asignación, tanto de precios como de fracciones de CS a cada una de las empresas intervinientes. Este procedimiento es válido para cualquier servicio que se pretenda negociar entre las empresas, y es central al presente trabajo de Tesis.

3.5.1 Datos de entrada (asociados al período ‘ t ’)

Cada participante j dispone de la CS correspondiente al período t_0 , y prevé requerir una potencia $P(j, t)$ en el período t . Además, puede fijar una estrategia de oferta (o

demanda) variada, explicitándola a través de sus TO y TD. Cada participante j debe presentar las tablas actualizadas antes de que el *Subastador* inicie el POPYCS. En efecto, al inicio de cada período t , cada participante informa al *Subastador*: $P(j, t)$; CS actual, $CS(j, t_0)$; el precio de contratación, $Pr(j, t_0)$; y las tablas: $TO(j, t)$ y $TD(j, t)$. En el POPYCS, la variación de la CS de j , para un ciclo $c + 1$, del período t , es:

$$\Delta CS(j, t, c + 1) = CS(j, t, c) - P(j, t), \quad (j = 1, \dots, N + 1) \quad (3.3)$$

Entonces, el participante j podrá ofrecer hasta un máximo de esa variación como CS, si $\Delta CS(j, t, c + 1) > 0$ (o bien, demandar como mínimo ese valor, si $\Delta CS(j, t, c + 1) < 0$). La expresión Ec. (3.3) insinúa también la magnitud de la CS ociosa o inactiva de cada participante j , en el ciclo c del período t ; mientras que el valor definitivo final quedará fijo al finalizar la ejecución del POPYCS.

En la Tabla 3.I, se presentan las TO y TD correspondientes al participante $j = 1$, posicionado como vendedor, $TO(j^v, t)$, o como comprador, $TD(j^c, t)$, de fracciones de CS para el período t . Así, en la $TO(1^v, t)$ hay W ofertas postuladas por el participante $j = 1$, quien ofrece vender $Xs_{(w)}(1^v, t)$ fracciones de CS, a los precios $s_{(w)}(1^v, t)$, con $w = 1, \dots, W$; y en la $TD(1^c, t)$ hay Q ofertas postuladas por el mismo participante $j = 1$, quien ofrece comprar $Xb_{(q)}(1^c, t)$ fracciones de CS, a los precios $b_{(q)}(1^c, t)$, con $q = 1, \dots, Q$. Nótese que las dimensiones W y Q pueden ser iguales o diferentes, y pueden además ser modificadas antes de que el *Subastador* ejecute POPYCS para obtener los valores correspondientes al nuevo período t . Además, el *Subastador* ingresa al POPYCS su $Pr(sb, t_0)$.

TABLA 3.I: TO Y TD DEL PARTICIPANTE $j = 1$
(PARA EL PERÍODO t) [83]

| TO($1^v, t$) | | TD($1^c, t$) | |
|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| $Xs_{(1)}(1^v, t)$ | $s_{(1)}(1^v, t)$ | $b_{(1)}(1^c, t)$ | $Xb_{(1)}(1^c, t)$ |
| $Xs_{(2)}(1^v, t)$ | $s_{(2)}(1^v, t)$ | $b_{(2)}(1^c, t)$ | $Xb_{(2)}(1^c, t)$ |
| : | : | : | : |
| $Xs_{(w)}(1^v, t)$ | $s_{(w)}(1^v, t)$ | $b_{(q)}(1^c, t)$ | $Xb_{(q)}(1^c, t)$ |

3.5.2 Datos de entrada (asociados al ciclo ‘c’)

La variación de la CS de j , para un ciclo $c + 1$, del período t , hallado en (3.3) es de gran importancia para el POPYCS, ya que define el rol —como vendedor o comprador— del participante j en cada ciclo c del período t . Para $c = 1$ se cumple: $CS(j, t_0) = CS(j, t, 1)$, $Pr(j, t_0) = Pr(j, t, 1)$, y $Pr(sb, t_0) = Pr(sb, t, 1)$.

3.5.3 Algoritmo de subasta doble: AlgSD

De acuerdo al protocolo PMD [59], cada participante declara sus precios como comprador (b_1, \dots, b_M) y como vendedor (s_1, \dots, s_R) . Estos precios se arreglan en una matriz similar a la de la Tabla 3.I, pero incluyendo sólo a aquellos valores que la Ec. (3.3) habilite como válidos para cada participante j , en el ciclo c del período t . En consecuencia, se obtiene la matriz Ventas-Compras de la Tabla 3.II, donde se encuentra representado cada participante $j=1, \dots, N+1$ [1] (en el ciclo c del período t), en función de Ec. (3.3) y de lo declarado en la Tabla 3.1. En esta propuesta, el ordenamiento de los precios se elabora a partir de todos los precios declarados en la TO o la TD de la Tabla 3.I.

Los componentes de la Tabla 3.II, deben cumplir:

$$s_{(1)}(j^v, t, c) < s_{(2)}(j^v, t, c) < \dots < s_{(R)}(j^v, t, c) \quad (3.4.a)$$

$$b_{(1)}(j^c, t, c) > b_{(2)}(j^c, t, c) > \dots > b_{(M)}(j^c, t, c) \quad (3.4.b)$$

TABLA 3.II: MATRIZ DE VENTAS-COMPRAS PARA LOS PARTICIPANTES $j = 1, \dots, N + 1$
(EN EL CICLO c DEL PERÍODO t) [83]

| TO (j^v, t, c) | | TD (j^c, t, c) | |
|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| $Xs_{(1)}(j^v, t, c)$ | $s_{(1)}(j^v, t, c)$ | $b_{(1)}(j^c, t, c)$ | $Xb_{(1)}(j^c, t, c)$ |
| $Xs_{(2)}(j^v, t, c)$ | $s_{(2)}(j^v, t, c)$ | $b_{(2)}(j^c, t, c)$ | $Xb_{(2)}(j^c, t, c)$ |
| : | : | : | : |
| $Xs_{(R)}(j^v, t, c)$ | $s_{(R)}(j^v, t, c)$ | $b_{(M)}(j^c, t, c)$ | $Xb_{(M)}(j^c, t, c)$ |

En la Ec. (3.4) se observa el ordenamiento inverso de precios para compradores y vendedores. Se define a $b_{(M+1)}(j^c, t, c)$ como el precio más bajo posible de los compradores, y a $s_{(R+1)}(j^v, t, c)$ como el precio más alto posible de los vendedores.

Además, si se comprueba que:

$$b_{(M+1)}(j^c, t, c) < s_{(R+1)}(j^v, t, c) \quad (3.5)$$

Entonces se puede hallar un valor k , tal que:

$$b_{(k)}(j^c, t, c) \geq s_{(k)}(j^v, t, c) \quad (3.6.a)$$

$$b_{(k+1)}(j^c, t, c) < s_{(k+1)}(j^v, t, c) \quad (3.6.b)$$

Dado que las primeras k ofertas de los compradores superan a lo pretendido por los vendedores, entonces existen como máximo k transacciones posibles de compra-venta de CS. Para ellas, se define el siguiente precio de negociación:

$$Pr_0(t, c) = \frac{1}{2} \{b_{(k+1)}(j^c, t, c) + s_{(k+1)}(j^v, t, c)\} \quad (3.7)$$

Se propone el siguiente protocolo de asignación de precios:

- 1- Si: $s_{(k)}(j^v, t, c) \leq Pr_0(t, c) \leq b_{(k)}(j^c, t, c)$, entonces los primeros k compradores y vendedores negocian al precio $Pr_0(t, c)$, descartando los precios que fijaron en sus respectivas ofertas.
- 2- Si: $Pr_0(t, c) > b_{(k)}(j^c, t, c)$ o bien si: $Pr_0(t, c) < s_{(k)}(j^v, t, c)$, entonces los primeros $k-1$ compradores y vendedores negocian como sigue: los compradores al precio $b_{(k)}(j^c, t, c)$, y los vendedores al precio $s_{(k)}(j^v, t, c)$. En este caso, el siguiente monto es pagado por el comprador pero no es cobrado por el vendedor: $Pr(sb, t, c) = (k - 1) \times [b_{(k)}(j^c, t, c) - s_{(k)}(j^v, t, c)]$. Ese monto sobrante es asignado al *Subastador*, el cual es un agente externo que no desea comprar ni vender.

Si la Ec. (3.3) señala que todos los participantes j deben estar del lado de la oferta en la Tabla 3.II, entonces la EDS pasa inmediatamente del lado de la demanda en la Tabla 3.II. También, la EDS formará parte de la demanda de la Tabla 3.II cuando no disponga de CS para vender.

3.5.4 Algoritmo para asignar la capacidad de suministro: AlgACS

En cada renglón de la Tabla 3.II, y hasta la posición donde se produce el calce del ordenamiento matricial (k o $k-1$) determinado por AlgSD, se calcula el promedio de las fracciones de CS, según:

$$XP_{(i)}(t, c) = \frac{1}{2} [Xs_{(i)}(j^v, t, c) + Xb_{(i)}(j^c, t, c)]$$

$$[i = 1, \dots, k \text{ (o: } k-1)] \quad (3.8)$$

Esta fracción de CS promedio representa un posible acuerdo al cual podría realizarse la transacción entre cada pareja *vendedor-comprador* formada en la SD, identificada en la posición *i*, correspondiente al ciclo *c* del período *t*, hasta la posición de calce *k* o *k-1*. Una forma de organizar la información obtenida con estos valores promedio es a través de una matriz. Como ejemplo, en la Tabla 3.III se supone que hay 4 participantes, donde los participantes *j=1* (1^v) y *j=4* (4^v) se postulan como vendedores, y los participantes *j=2* (2^c) y *j=3* (3^c) se postulan como compradores. A efectos de interpretar los contenidos de la Tabla 3.III, se menciona lo indicado en la fila 1, donde en la posición *i=1* la pareja vendedor *j=1* (1^v) y comprador *j=2* (2^c), podrían acordar un intercambio de fracción de CS, $XP_{(1)}(t, c) = 0.75$, en el ciclo *c* del período *t*. En definitiva, el AlgACS permite establecer un criterio para asignar las fracciones de CS a comercializar entre los diferentes participantes de la SD, en el ciclo *c* del período *t*, sin que dichas fracciones necesariamente coincidan con lo pretendido originalmente por cada participante *j*.

TABLA 3.III: FRACCIÓN PROMEDIO DE CS POR PAREJA VENDEDOR-COMPRADOR
(EN EL CICLO *c* DEL PERÍODO *t*) [83]

| <i>i</i> | Vendedor | $XP_{(i)}$ | Comprador |
|---------------------|----------|-------------------------|-----------|
| <i>i</i> = 1 | 1 | $XP_{(1)}(t, c) = 0.75$ | 2 |
| <i>i</i> = 2 | 1 | $XP_{(2)}(t, c) = 1.50$ | 3 |
| <i>i</i> = 3 | 4 | $XP_{(3)}(t, c) = 3.50$ | 2 |
| <i>i</i> = 4 | 1 | $XP_{(4)}(t, c) = 3.50$ | 3 |
| <i>i</i> = 5 | 1 | $XP_{(5)}(t, c) = 5.50$ | 2 |
| <i>i</i> = 6 | 4 | $XP_{(6)}(t, c) = 6.00$ | 3 |
| : | : | : | : |
| <i>i</i> = <i>k</i> | ... | ... | ... |
| (o: <i>k-1</i>) | ... | ... | ... |

3.5.5 Algoritmo de mejora de la eficiencia de transacciones: AlgMET

Este algoritmo está diseñado para identificar y determinar los valores (o la combinación de valores) $XP_{(i)}(t, c)$ que mejor aprovechan las CS disponibles por los vendedores y que serán efectivamente asignadas a cada participante *j* en cada ciclo *c* del período *t*. En otras palabras, se busca concretar una asignación de fracciones de CS, con aquella combinación de $XP_{(i)}(t, c)$ que reduzca al mínimo las CS disponibles de cada

participante j^v en cada ciclo c del período t . Para ello, a partir de la Tabla 3.III, se ejecutan los pasos que se detallan a continuación.

Paso 1. Con todas las combinaciones posibles de $XP_{(i)}(t, c)$ del vendedor j^v de la Tabla 3.III, se arma la matriz \mathbf{M}_j ($2^{v(j)} \times v(j)$), donde $v(j)$ es el número total de participaciones de j^v . Luego, se calculan los vectores de dimensiones ($2^{v(j)} \times 1$): a) \mathbf{s}_j , como la suma de las componentes de cada fila de la matriz \mathbf{M}_j ; y b) \mathbf{r}_j , por diferencia entre el valor obtenido en la Ec. (3.3) por el participante j^v y el valor de \mathbf{s}_j correspondiente. Por ejemplo, en la Tabla 3.III el vendedor 1^v participa 4 veces (filas 1, 2, 4, 5), con los siguientes valores de $XP_{(i)}(t, c)$: {0.75, 1.50, 3.50, 5.50}; y se arma entonces la matriz \mathbf{M}_1 ($2^4 \times 4$) y el vector \mathbf{s}_1 ($2^4 \times 1$) [ver Tabla 3.IV]. Como el resultado de la Ec. (3.3) para el vendedor 1^v es 2.57, entonces se puede calcular \mathbf{r}_1 ($2^4 \times 1$) [última columna de la Tabla 3.IV].

TABLA 3.IV: MATRIZ DEL VENDEDOR 1^v , \mathbf{M}_1 Y VECTORES \mathbf{s}_1 Y \mathbf{r}_1 ASOCIADOS
(EN EL CICLO c DEL PERÍODO t) [83]

| | Matriz \mathbf{M}_1 | | | | \mathbf{s}_1 | \mathbf{r}_1 |
|----|-----------------------|------|------|------|----------------|----------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 2.57 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0.75 | 0.75 | 1.82 |
| 3 | 0 | 0 | 1.50 | 0 | 1.50 | 1.07 |
| 4 | 0 | 0 | 1.50 | 0.75 | 2.25 | 0.32 |
| 5 | 0 | 3.50 | 0 | 0 | 3.50 | -0.93 |
| 6 | 0 | 3.50 | 0 | 0.75 | 4.25 | -1.68 |
| 7 | 0 | 3.50 | 1.50 | 0 | 5.00 | -2.43 |
| 8 | 0 | 3.50 | 1.50 | 0.75 | 5.75 | -3.18 |
| 9 | 5.50 | 0 | 0 | 0 | 5.50 | -2.93 |
| 10 | 5.50 | 0 | 0 | 0.75 | 6.25 | -3.68 |
| 11 | 5.50 | 0 | 1.50 | 0 | 7.00 | -4.43 |
| 12 | 5.50 | 0 | 1.50 | 0.75 | 7.75 | -5.18 |
| 13 | 5.50 | 3.50 | 0 | 0 | 9.00 | -6.43 |
| 14 | 5.50 | 3.50 | 0 | 0.75 | 9.75 | -7.18 |
| 15 | 5.50 | 3.50 | 1.50 | 0 | 10.50 | -7.93 |
| 16 | 5.50 | 3.50 | 1.50 | 0.75 | 11.25 | -8.68 |

Paso 2. Identificar los valores de $XP_{(i)}(t, c)$ de la fila de \mathbf{M}_j correspondiente al menor valor positivo del vector \mathbf{r}_j . En el ejemplo, son los valores {1.50, 0.75} de la fila 4, que sugieren identificar a las filas $i=1$ e $i=2$ de la Tabla 3.III como habilitadas para la transacción comercial (tratos *Ventas-Compras* efectivos); mientras que no lo serían los casos de las filas $i=4$ e $i=5$. Si existiera un mínimo repetido del vector \mathbf{r}_j (en 2 o más filas), entonces: i) para cada una de esas filas, en la Tabla 3.III seleccionar aquella que tenga el

valor i más grande; y ii) de esos valores i seleccionados, elegir el menor para identificar la transacción comercial finalmente habilitada.

Paso 3. Repetir los Pasos 1 y 2 para cada vendedor j^v .

Paso 4. Redefinir la Tabla 3.III seleccionando en ella los tratos *Ventas-Compras* efectivos que ya fueron identificados en cada Paso 2 para cada vendedor j^v . Para el ejemplo, admitamos obtener la Tabla 3.V, la cual contiene los valores que hacen eficientes las transacciones.

TABLA 3.V: VENTAS-COMPRAS: TRATOS EFECTIVOS
(EN EL CICLO c DEL PERÍODO t) [83]

| i | Vendedor | $XP_{(i)}$ | Comprador |
|-------------|----------|-------------------------|-----------|
| $i = 1$ | 1 | $XP_{(1)}(t, c) = 0.75$ | 2 |
| $i = 2$ | 1 | $XP_{(2)}(t, c) = 1.50$ | 3 |
| $i = 3$ | 4 | $XP_{(3)}(t, c) = 3.50$ | 2 |
| $i = 6$ | 4 | $XP_{(6)}(t, c) = 6.00$ | 3 |
| : | : | : | : |
| $i = k$ | ... | ... | ... |
| (o: $k-1$) | ... | ... | ... |

3.5.6 Actualización de valores.

En este punto se busca obtener el valor actualizado de t , con base en los valores iniciales correspondientes a t_0 y a los determinados con PAPYCS. A partir de la Tabla 3.V, se procede de la siguiente manera:

a) Para cada vendedor j^v , calcular: i) $\Delta CS^v(j, t, c)$, como la suma de los $XP_{(i)}(t, c)$; y ii) $u^v(j, t, c)$, como el número de veces que se repite ese vendedor. Para el ejemplo, se obtiene: i) para el participante 1^v : $\Delta CS^v(1, t, c) = 2.25$ y $u^v(1, t, c) = 2$, y ii) para el participante 4^v : $\Delta CS^v(4, t, c) = 9.50$ y $u^v(4, t, c) = 2$.

b) Para cada comprador j^c , calcular: i) $\Delta CS^c(j, t, c)$, como la suma de los $XP_{(i)}(t, c)$; y ii) $u^c(j, t, c)$, como el número de veces que se repite ese comprador. Para el ejemplo, se obtiene: i) para el participante 2^c : $\Delta CS^c(2, t, c) = 4.25$ y $u^c(2, t, c) = 2$, y ii) para el participante 3^c : $\Delta CS^c(3, t, c) = 7.50$ y $u^c(3, t, c) = 2$.

Luego, para cada participante j , en el ciclo final $C(t)$, del período t , se calculan:

$$CS(j, t, C(t)) = CS(j, t_0) - \sum_{c=1}^{C(t)} \Delta CS^v(j^v, t, c) + \sum_{c=1}^{C(t)} \Delta CS^c(j^c, t, c) \quad (3.9)$$

$$\begin{aligned} \Pr(j, t, C(t)) = & \Pr(j, t_0) + \sum_{c=1}^{C(t)} Pr_0(t, c) \times u^v(j^v, t, c) \\ & - \sum_{c=1}^{C(t)} Pr_0(t, c) \times u^c(j^c, t, c) \end{aligned} \quad (3.10)$$

Y para el caso del *Subastador*:

$$\Pr(sb, t, C(t)) = \Pr(sb, t_0) - \sum_{c=1}^{C(t)} \sum_1^{j=N+1} \Pr(j, t, c) \quad (3.11)$$

Cabe aclarar que para el vendedor j^v , si se cumple:

$$0 \leq \Delta CS^v(j^v, t, c + 1) < \min X_{S(W)}(j^v, t, c) :/ X_{S(W)}(j^v, t, c) \in TO(j, t) \quad (3.12)$$

entonces j ya no participará en la siguiente ejecución del POPYCS, en el próximo ciclo c del período t .

3.5.7 Datos de salida (asociados al ciclo ‘ c ’).

Finalmente, para el período t y ciclo c , el procedimiento propuesto realimenta la información para una nueva ejecución del POPYCS, aumentando en uno el número de ciclos. El POPYCS deja de ejecutarse cuando en la Tabla 3.II ya no existen participantes vendedores.

3.5.8 Datos de salida (asociados al período ‘ t ’)

Los resultados obtenidos del POPYCS son recogidos y analizados por el *Subastador*. Si los resultados del ciclo $c+1$ son idénticos a los obtenidos en el ciclo c , el *Subastador* detiene al POPYCS e informa a cada participante j en el período t los valores: $\Pr(j, t, C(t))$, $\Pr(sb, t, C(t))$, y $CS(j, t, C(t))$, identificando además el valor de $c = C(t)$.

3.6 Seudocódigo de un ciclo de POPYCS

A continuación, se presentan los pseudocódigos que permiten implementar cada uno de los algoritmos detallados anteriormente. Estos pseudocódigos describen la ejecución de un ciclo del POPYCS, proveyendo una descripción genérica de los bloques representados en la Fig. 3.1.

Datos de entrada: $P(j, t)$, $TD(j, t)$, $TO(j, t)$. Y además, para $c=1$: $CS(j, t_0)$, $\Pr(j, t_0)$, $\Pr(sb, t_0)$.

Inicio de AlgSD

1. Declarar los precios de cada j como j^c y como j^v : $s_{(r)}$ y $b_{(m)}$.
2. Armar las TO y TD, respetando la Ec. (3.3), y ordenando según las Ecs. (3.4.a) y (3.4.b). Obtener la Tabla 3.II.
3. Comparar las columnas de $s_{(r)}$ y $b_{(m)}$ hasta hallar la posición de calce, k , que verifique las Ecs. (3.6).
4. Calcular el precio de negociación Pr_0 con la Ec. (3.7).
5. SI: $s_{(k)}(j^v) \leq Pr_0 \leq b_{(k)}(j^c)$, ENTONCES:
Los k primeros j^c y j^v negocian a Pr_0 .

SI: $Pr_0 > b_{(k)}(j^c)$ o $Pr_0 < s_{(k)}(j^v)$, ENTONCES:

Los $(k-1)$ primeros j^c negocian a $b_{(k)}(j^c)$ y los $(k-1)$ primeros j^v negocian a $s_{(k)}(j^v)$.

Asignar el monto sobrante al *Subastador*: $Pr(sb)$.

Fin de AlgSD

Resultados de AlgSD transferidos a AlgACS

Tabla 3.II.

Inicio de AlgACS

1. Para cada posición i de las TO y TD (Tabla 3.II), calcular $XP_{(i)}$ con la Ec. (3.8).
2. Construir la Tabla 3.III, incorporando $XP_{(i)}$ a la Tabla 3.II.

Fin de AlgACS

Resultados de AlgACS transferidos a AlgMET

Tabla 3.III

Inicio de AlgMET

1. Para cada vendedor j^v ($= 1, 2, \dots$):
 - (i) Calcular las participaciones j^v , $v(j)$, a partir de la Tabla 3.III.
 - (ii) Armar la matriz \mathbf{M}_j , del vendedor j^v (Tabla 3.IV).
 - (iii) Calcular los vectores \mathbf{s}_j y \mathbf{r}_j (Tabla 3.IV).
 - (iv) Con los $XP_{(i)}$ de la fila de \mathbf{M}_j con menor valor positivo de \mathbf{r}_j , identificar las correspondientes filas i en la Tabla 3.III.
2. Armar la Tabla 3.V a partir de los tratos ventas-compras efectivos determinados en el paso anterior.

Fin de AlgMET

3.7 Negociación entre tres empresas participantes y una EDS.

La implementación computacional de los algoritmos descriptos es compleja debido a que, en cada ciclo c , cada participante j puede quedar (o no) involucrado en el PAPYCS. Además, en el caso de quedar involucrado, puede alternar (o no) su posicionamiento como vendedor o como comprador. A continuación, se presentan dos ejemplos sintéticos de dimensión reducida. Con el símbolo [\\$a] se representa a la unidad económica de valor arbitraria, y con [Ua] se representa a la unidad arbitraria de fracción de CS, es decir, la potencia o cantidad de trabajo por unidad de tiempo, dependiendo del servicio en cuestión. La Fig. 3.2 muestra un esquema de las $N = 3$ industrias participantes y el AP de la EDS ($j=4$). Se asume que la EDS tiene una CS de 30 [Ua].

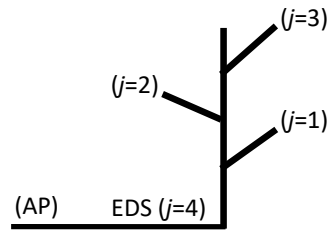


Fig. 3.2. Esquema conceptual de conexiones de 4 participantes al AP ($j = 1, 2, 3$: industrias; $j = 4$: EDS).

Analicemos inicialmente el caso estándar, cuando no se dispone de ningún criterio de regulación o reasignación de fracciones de CS. La Fig. 3.3 indica el comportamiento-requiremimiento $P(j, t)$ de cada participante j en un período t . La potencia total, $PT(t)$, la CS total provista por la EDS, $CST(t)$, y la CS inactiva del AP, $CSI(t)$, se calculan según (ver Fig. 3.3):

$$PT(t) = \sum_{j=1}^N P(j, t) \quad (3.13)$$

$$CST(t) = \sum_{j=1}^N CS(j, t, C(t)) \quad (3.14)$$

$$CSI(t) = CST(t) - PT(t) \quad (3.15)$$

La Tabla 3.VI detalla los valores de la Fig. 3.3. Las CS de las 3 industrias se mantienen constantes para los diferentes valores de t , porque usualmente cada industria contrata a la EDS una única CS válida durante un período de tiempo relativamente prolongado (cota máxima de potencia que no debe ser superada para evitar penalizaciones). La EDS ($j=4$) no interviene en la Tabla 3.VI porque su potencia transaccional es nula en todos los intervalos de tiempo, es decir $P(4, t) = 0$.

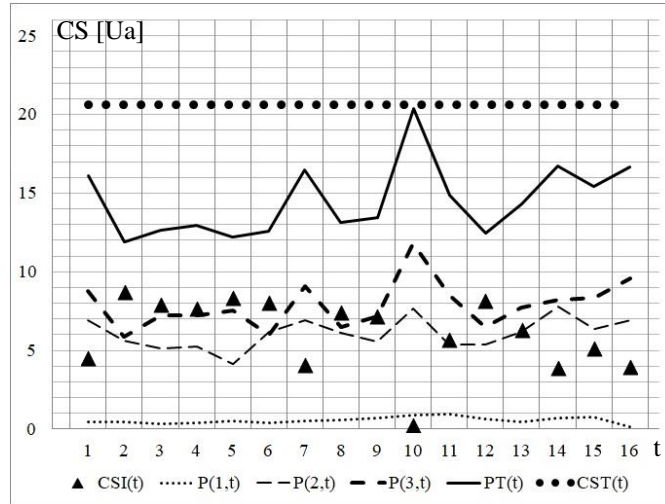


Fig. 3.3. Evoluciones de CS y potencias a lo largo de 16 períodos. Caso CS contratada constante.

TABLA 3.VI: $P(j,t)$ Y $CS(j,t,C(t))$ EN [Ua], POR PARTICIPANTE j EN EL PERÍODO t

| t | $P(1,t)$ | $CS(1,t,1)$ | $P(2,t)$ | $CS(2,t,1)$ | $P(3,t)$ | $CS(3,t,1)$ | $PT(t)$ | $CST(t)$ |
|-----|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|---------|----------|
| 1 | 0.43 | 1.00 | 6.91 | 7.80 | 8.75 | 11.80 | 16.08 | 20.60 |
| 2 | 0.46 | 1.00 | 5.60 | 7.80 | 5.85 | 11.80 | 11.90 | 20.60 |
| 3 | 0.31 | 1.00 | 5.13 | 7.80 | 7.22 | 11.80 | 12.65 | 20.60 |
| 4 | 0.40 | 1.00 | 5.27 | 7.80 | 7.26 | 11.80 | 12.93 | 20.60 |
| 5 | 0.53 | 1.00 | 4.15 | 7.80 | 7.54 | 11.80 | 12.22 | 20.60 |
| 6 | 0.39 | 1.00 | 6.17 | 7.80 | 6.01 | 11.80 | 12.57 | 20.60 |
| 7 | 0.52 | 1.00 | 6.90 | 7.80 | 9.07 | 11.80 | 16.49 | 20.60 |
| 8 | 0.58 | 1.00 | 6.10 | 7.80 | 6.48 | 11.80 | 13.16 | 20.60 |
| 9 | 0.70 | 1.00 | 5.57 | 7.80 | 7.18 | 11.80 | 13.45 | 20.60 |
| 10 | 0.90 | 1.00 | 7.65 | 7.80 | 11.79 | 11.80 | 20.35 | 20.60 |
| 11 | 0.95 | 1.00 | 5.39 | 7.80 | 8.54 | 11.80 | 14.89 | 20.60 |
| 12 | 0.64 | 1.00 | 5.35 | 7.80 | 6.46 | 11.80 | 12.45 | 20.60 |
| 13 | 0.44 | 1.00 | 6.16 | 7.80 | 7.70 | 11.80 | 14.31 | 20.60 |
| 14 | 0.72 | 1.00 | 7.77 | 7.80 | 8.22 | 11.80 | 16.71 | 20.60 |
| 15 | 0.73 | 1.00 | 6.38 | 7.80 | 8.33 | 11.80 | 15.44 | 20.60 |
| 16 | 0.15 | 1.00 | 6.94 | 7.80 | 9.56 | 11.80 | 16.66 | 20.60 |

A continuación, se analiza la aplicación del método propuesto, para el caso en que se permite una reasignación de fracciones de CS. Las Tablas 3.VII y 3.VIII muestran, respectivamente, las matrices de demandas, $TD(j^c, t)$, y de ofertas, $TO(j^v, t)$, de acuerdo a los criterios elegidos por cada participante j y por la EDS.

TABLA 3.VII: $TD(j^c, t)$ Y $TO(j^v, t)$, POR PARTICIPANTE j EN EL PERÍODO t

$$Xb [Ua] - Xs [Ua] - b [\$a] - s [\$a]$$

| TD | | TO | | TD | | TO | | TD | | TO | |
|------------|------|------------|-----|------------|------|------------|-----|------------|------|------------|-----|
| $(1^c, t)$ | | $(1^v, t)$ | | $(2^c, t)$ | | $(2^v, t)$ | | $(3^c, t)$ | | $(3^v, t)$ | |
| b | Xb | Xs | s | b | Xb | Xs | s | b | Xb | Xs | s |
| 8.0 | 1.0 | 0.5 | 1.8 | 8.5 | 1.0 | 1.0 | 2.5 | 7.7 | 1.0 | 1.0 | 3.1 |
| 6.6 | 4.0 | 2.0 | 2.4 | 7.0 | 4.0 | 2.0 | 3.0 | 6.3 | 4.0 | 2.0 | 3.7 |
| 5.6 | 7.0 | 3.0 | 2.9 | 6.0 | 7.0 | 3.0 | 3.6 | 5.3 | 7.0 | 3.0 | 4.0 |
| 4.6 | 10 | 4.0 | 3.4 | 5.0 | 10 | 4.0 | 4.1 | 4.3 | 10 | 4.0 | 4.5 |

TABLA 3.VIII: $TD(4^c, t)$ Y $TO(4^v, t)$, PARA LA EDS EN EL PERÍODO t

$$Xb [Ua] - Xs [Ua] - b [\$a] - s [\$a]$$

| Xs (o Xb) | s | b |
|----------------|------|------|
| 3.00 | 2.60 | 6.50 |
| 5.00 | 3.50 | 5.50 |
| 7.00 | 5.00 | 5.00 |
| 9.00 | 7.00 | 4.50 |
| 11.00 | 7.70 | 4.00 |
| 13.00 | 8.45 | 3.50 |
| 15.00 | 9.00 | 3.00 |
| 17.00 | 9.35 | 2.50 |
| 19.00 | 9.50 | 2.00 |

En la Fig. 3.4 se observa el comportamiento de la $CST(t)$ y la $CSI(t)$, resultante de aplicar el POPYCS, partiendo de $CS(j, t_0) = 0$, y $Pr(j, t_0) = 0$ para todo participante j ($= 1, 2, 3$), y $Pr(sb, t_0) = 0$. Las Tablas 3.IX y 3.X detallan los valores de $CS(j, t, C(t))$ y $Pr(j, t, C(t))$ obtenidos con el POPYCS, en cada período t . Un valor negativo indica una entrega de CS (o un pago monetario), y un valor positivo indica una adquisición de CS (o un cobro monetario). En ambas tablas, ya sea para $CS(j, t, C(t))$ o $Pr(j, t, C(t))$, la suma de sus valores por período t debe ser cero. La Tabla 3.X resume los valores de $Pr(sb, t, C(t))$ que adquiere el *Subastador*. En este trabajo se asume que el *Subastador* no es un agente comercial; aun así, recibe el pago en cada período t , de acuerdo con [59].

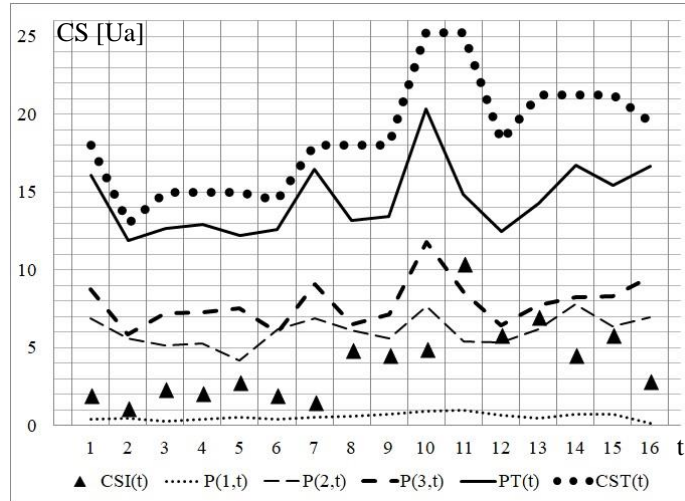


Fig. 3.4. Evoluciones de CS y potencias a lo largo de 16 períodos. Caso de fracciones de CS contratadas variables entre períodos t .

El valor de $CSR(t)$ se calcula según (ver Ecs. (3.1) y (3.14)):

$$CSR(t) = CS(t) - CST(t) \quad (3.16)$$

Los valores acumulados (ac) de la $CSI(t)$ y de la $CSR(t)$, para todos los períodos t analizados, se calculan a través de las siguientes expresiones (en [Ua]):

$$CSI_{(ac)} = \sum_1^t CSI(t) \quad (3.17)$$

$$CSR_{(ac)} = \sum_1^t CSR(t) \quad (3.18)$$

Para el caso propuesto, la $CSI_{(ac)}$ se reduce un 34%, y la $CSR_{(ac)}$ se incrementa un 22%, con respecto a la no aplicación del POPYCS.

TABLA 3.IX: $CS(j,t,C(t))$ EN [Ua], POR PARTICIPANTE j EN EL PERÍODO t

| t | $C(t)$ | $CS(1,t,C(t))$ | $CS(2,t,C(t))$ | $CS(3,t,C(t))$ | $CS(4,t,C(t))$ |
|-----|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 5 | 0.75 | 7.75 | 9.50 | -18.00 |
| 2 | 3 | 0.75 | 5.75 | 6.50 | -13.00 |
| 3 | 3 | 0.75 | 5.75 | 8.50 | -15.00 |
| 4 | 1 | 0.75 | 5.75 | 8.50 | -15.00 |
| 5 | 1 | 0.75 | 5.75 | 8.50 | -15.00 |
| 6 | 3 | 0.75 | 7.25 | 6.50 | -14.50 |
| 7 | 3 | 0.75 | 7.25 | 10.00 | -18.00 |
| 8 | 1 | 0.75 | 7.25 | 10.00 | -18.00 |
| 9 | 1 | 0.75 | 7.25 | 10.00 | -18.00 |
| 10 | 3 | 2.00 | 9.25 | 14.00 | -25.25 |
| 11 | 1 | 2.00 | 9.25 | 14.00 | -25.25 |
| 12 | 2 | 2.00 | 9.25 | 7.00 | -18.25 |
| 13 | 2 | 2.00 | 9.25 | 10.00 | -21.25 |
| 14 | 1 | 2.00 | 9.25 | 10.00 | -21.25 |
| 15 | 1 | 2.00 | 9.25 | 10.00 | -21.25 |
| 16 | 2 | 0.25 | 9.25 | 10.00 | -19.50 |

TABLA 3.X: $Pr(j,t,C(t))$ EN [\\$a], POR PARTICIPANTE j EN EL PERÍODO t

| t | $C(t)$ | $(1,t,C(t))$ | $(2,t,C(t))$ | $(3,t,C(t))$ | $(4,t,C(t))$ | $(sb,t,C(t))$ |
|-----|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| 1 | 5 | 3.00 | -20.90 | -11.00 | 28.90 | 0.00 |
| 2 | 3 | 3.00 | -17.15 | -6.75 | 20.90 | 0.00 |
| 3 | 3 | 3.00 | -17.15 | -13.10 | 26.65 | 0.60 |
| 4 | 1 | 3.00 | -17.15 | -13.10 | 26.65 | 0.60 |
| 5 | 1 | 3.00 | -17.15 | -13.10 | 26.65 | 0.60 |
| 6 | 3 | 3.00 | -21.05 | -7.10 | 24.55 | 0.60 |
| 7 | 3 | 3.00 | -21.05 | -13.45 | 30.30 | 1.20 |
| 8 | 1 | 3.00 | -21.05 | -13.45 | 30.30 | 1.20 |
| 9 | 1 | 3.00 | -21.05 | -13.45 | 30.30 | 1.20 |
| 10 | 3 | -0.80 | -28.05 | -20.45 | 48.10 | 1.20 |
| 11 | 1 | -0.80 | -28.05 | -20.45 | 48.10 | 1.20 |
| 12 | 2 | -0.80 | -28.05 | -17.25 | 44.90 | 1.20 |
| 13 | 2 | -0.80 | -28.05 | -21.90 | 49.55 | 1.20 |
| 14 | 1 | -0.80 | -28.05 | -21.90 | 49.55 | 1.20 |
| 15 | 1 | -0.80 | -28.05 | -21.90 | 49.55 | 1.20 |
| 16 | 2 | 2.60 | -28.05 | -21.90 | 46.05 | 1.30 |

En la Fig. 3.3 se observa que la curva $CST(t)$ es insensible a las variaciones de $PT(t)$. En cambio, en la Fig. 3.4, la curva $CST(t)$ acompaña a las variaciones de $PT(t)$. Esto último se debe a que el procedimiento propuesto, apoyado en los datos de entrada, dinamiza el comportamiento de $CST(t)$. Además, el procedimiento permite lograr que $CST(t)$ se aproxime y siga a $PT(t)$, en mayor o menor medida, con el solo hecho de alterar los valores asignados en las tablas que forman parte de los datos de entrada. Un comportamiento de la curva $CST(t)$, que no acompañe y no aproxime a las variaciones de $PT(t)$ desaprovecha la CS del AP.

En la Tabla 3.X se puede observar el comportamiento del $Pr(j,t,C(t))$ de cada participante j , en el período t . Los valores $Pr(j,t,C(t))$ se integran con los valores de $CS(j,t,C(t))$, ponen en conocimiento el pago o cobro que realiza cada participante j en el período t , y al mismo tiempo, manifiestan un comportamiento dinámico y dan una idea sobre la importancia que tiene cada participante j .

A los efectos de presentar una evaluación económica sencilla, se definen los siguientes indicadores, representativos de los precios totales abonados a lo largo de $T = 16$ períodos, por cada participante j :

$$Pr^D(j) = \sum_{t=1}^T Pr(j, t, C(t)) \quad (3.19)$$

$$Pr^E(j) = CS^E(j) \times \sum_{t=1}^T \left| \frac{Pr(j,t,C(t))}{CS(j,t,C(t))} \right| \quad (3.20)$$

donde $Pr^D(j)$ y $Pr^E(j)$ corresponden a las estrategias dinámica (contrato de CS variable) y estática (contrato de CS constante), respectivamente. El indicador $Pr^D(j)$ considera la suma de todos los precios variables del participante j en los T períodos de análisis. En cambio, $Pr^E(j)$ asume una CS constante $CS^E(j)$ para cada j , y un precio promedio por unidad de CS, calculado en base a la evolución observada en el caso dinámico. El índice $Pr^E(j)$ no es aplicable a la EDS.

En el presente ejemplo, los valores de $CS^E(j)$ se adoptan iguales a los considerados en la Tabla 3.VI, es decir: $CS^E(1) = 1.0$ [Ua]; $CS^E(2) = 7.80$ [Ua]; y $CS^E(3) = 11.80$ [Ua]. Las valoraciones de los índices se muestran en la Tabla 3.XI. En el caso dinámico, se observa que cada jugador puede recibir o pagar un valor económico, y además esos valores son inferiores a los correspondientes a la estrategia estática.

TABLA 3.XI: ÍNDICES DE EVALUACIÓN ECONÓMICA (PARA $T = 16$)

| j | $Pr^D(j)$ | $Pr^E(j)$ |
|----------|-----------|-----------------------|
| $j = 1$ | 24.80 | -48.80 |
| $j = 2$ | -370.05 | -370.25 |
| $j = 3$ | -250.25 | -307.90 |
| $j = 4$ | 581.00 | 726.95 ^(*) |
| (EDS) | | |
| $j = sb$ | 14.50 | - |

(*) Calculado como: $-\{CS^E(1) + CS^E(2) + CS^E(3)\}$.

Una manera de representar y conocer las preferencias de los consumidores es realizar un estudio de sus comportamientos en situaciones límites, como son las condiciones características de la demanda inelástica y la oferta inelástica. En esta condición, un dado participante j solo admite variaciones de precios sin modificaciones de sus cantidades demandadas u ofertadas.

3.7.1 Condición de demanda inelástica.

La elasticidad de la demanda es el grado en que la cantidad demandada, responde a las variaciones de precios del mercado. Se habla de una demanda “perfectamente elástica” cuando a un cambio en el precio, sin importar su proporción, le corresponde variación excesiva en la cantidad demandada. Similarmente, una demanda “perfectamente inelástica” se relaciona con un cambio en el precio, sin importar su magnitud, que no provoca ninguna variación en la cantidad demandada.

Los casos límite a estudiar corresponden a aquellos con demanda nula de uno o más participantes; y por lo tanto se verán reflejados con valores $Xb = 0$ en sus TD. En lo sucesivo, consideramos varios casos de estudio.

A. *Caso 1. Demanda inelástica límite para $j=1, 2, 3, 4$*

En la Tabla 3.VII y Tabla 3.VIII, se fija $Xb(j^c, t) = 0$ para todos los participantes j . Aplicando el POPYCS [83] se obtiene la Fig. 3.5. Las valoraciones de los índices se muestran en la Tabla 3.XII. La CS inactiva, $CSI(t)$, representa aquella CS contratada que no es utilizada plenamente. Los valores acumulados (ac) de la $CSI(t)$ y de la $CSR(t)$, para todos los períodos t analizados, son $CSI_{(ac)}$ y $CSR_{(ac)}$, respectivamente.

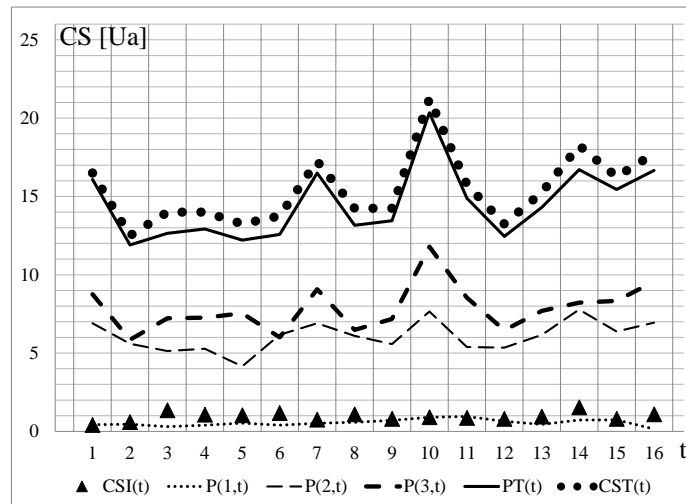


Fig. 3.5. Caso 1: Evoluciones de CS y potencias a lo largo de 16 períodos.

TABLA 3.XII - CASO 1: ÍNDICES DE EVALUACIÓN ECONÓMICA

| j | $Pr^D(j)$ | |
|---------------|-----------|-----------------------|
| $j = 1$ | 42.80 | $CSI_{(ac)} = 15.23$ |
| $j = 2$ | -258.85 | $CSR_{(ac)} = 232.50$ |
| $j = 3$ | 360.75 | |
| $j = 4$ (EDS) | -153.10 | |
| $j = sb$ | 8.40 | |

B. *Caso 2. Demanda inelástica límite para $j=4$ (EDS)*

En este caso se asume que sólo la EDS tiene un comportamiento inelástico. En la Tabla 3.VIII, se fija $Xb(j^c, t) = 0$ para $j=4$. Aplicando el POPYCS [83] se obtiene la Fig. 3.6. Las valoraciones de los índices se muestran en la Tabla 3.XIII.

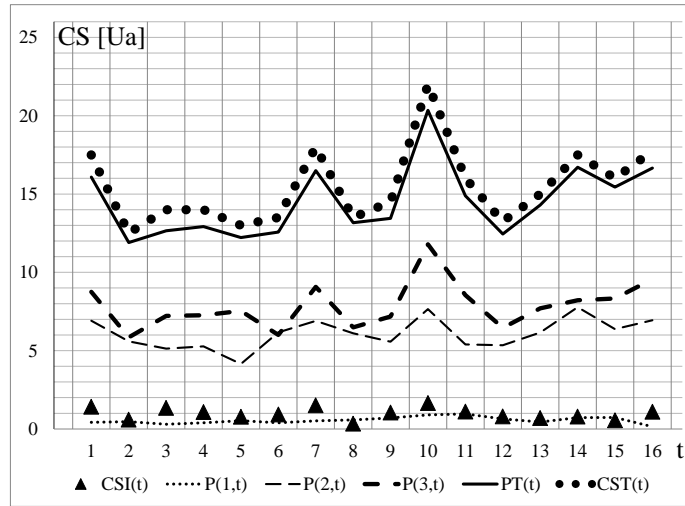


Fig. 3.6. Caso 2: Evoluciones de CS y potencias a lo largo de 16 períodos.

TABLA 3.XIII - CASO 2: ÍNDICES DE EVALUACIÓN ECONÓMICA

| j | $\text{Pr}^D(j)$ | |
|---------------|------------------|------------------------------|
| $j = 1$ | 115.95 | $\text{CSI}_{(ac)} = 15.73$ |
| $j = 2$ | 492.45 | $\text{CSR}_{(ac)} = 232.00$ |
| $j = 3$ | 861.35 | |
| $j = 4$ (EDS) | -1482.95 | |
| $j = sb$ | 13.20 | |

C. Caso 3. Demanda inelástica límite para $j=1, 2, 3$

En este caso se asume que sólo las empresas tienen un comportamiento inelástico, pero no así la EDS. En la Tabla 3.VII, se fija $Xb(j^c, t) = 0$ para $j=1, 2, 3$. Aplicando el POPYCS [83] se obtiene la Fig. 3.7. Las valoraciones de los índices se muestran en la Tabla 3.XIV.

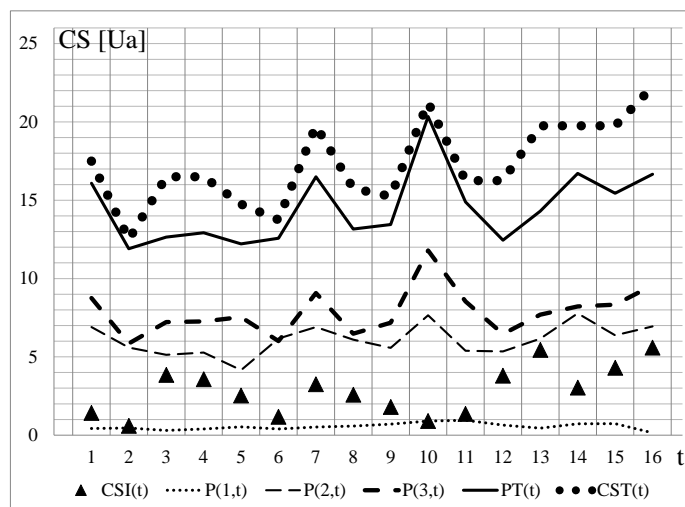


Fig. 3.7. Caso 3: Evoluciones de CS y potencias a lo largo de 16 períodos.

TABLA 3.XIV - CASO 3: ÍNDICES DE EVALUACIÓN ECONÓMICA

| j | $Pr^D(j)$ | |
|---------------|-----------|-----------------------|
| $j = 1$ | -55.80 | $CSI_{(ac)} = 45.23$ |
| $j = 2$ | -559.55 | $CSR_{(ac)} = 202.50$ |
| $j = 3$ | -556.20 | |
| $j = 4$ (EDS) | 1161.95 | |
| $j = sb$ | 9.60 | |

D. Caso 4. Demanda inelástica límite para $j=1$

Sólo la empresa $j=1$ tiene un comportamiento inelástico. En la Tabla 3.VII, se fija $Xb(1^c, t) = 0$. Aplicando el POPYCS [83] se obtiene la Tabla 3.XV.

TABLA 3.XV - CASO 4: ÍNDICES DE EVALUACIÓN ECONÓMICA

| j | $Pr^D(j)$ | |
|---------------|-----------|-----------------------|
| $j = 1$ | -27.00 | $CSI_{(ac)} = 48.73$ |
| $j = 2$ | -451.50 | $CSR_{(ac)} = 199.00$ |
| $j = 3$ | -201.50 | |
| $j = 4$ (EDS) | 672.40 | |
| $j = sb$ | 7.60 | |

E. Caso 5. Demanda inelástica límite para $j=2$

Sólo la empresa $j=2$ tiene un comportamiento inelástico. En la Tabla 3.VII, se fija $Xb(2^c, t) = 0$. Aplicando el POPYCS [83] se obtiene la Tabla 3.XVI.

TABLA 3.XVI - CASO 5: ÍNDICES DE EVALUACIÓN ECONÓMICA

| j | $Pr^D(j)$ | |
|---------------|-----------|-----------------------|
| $j = 1$ | 24.60 | $CSI_{(ac)} = 61.73$ |
| $j = 2$ | -483.20 | $CSR_{(ac)} = 186.00$ |
| $j = 3$ | -258.05 | |
| $j = 4$ (EDS) | 710.65 | |
| $j = sb$ | 6.00 | |

F. Caso 6. Demanda inelástica límite para $j=3$

Sólo la empresa $j=3$ tiene un comportamiento inelástico. En la Tabla 3.VII, se fija $Xb(3^c, t) = 0$. Aplicando el POPYCS [83] se obtiene la Tabla 3.XVII.

TABLA 3.XVII - CASO 6: ÍNDICES DE EVALUACIÓN ECONÓMICA

| j | $Pr^D(j)$ | |
|---------------|-----------|-----------------------|
| $j = 1$ | 31.55 | $CSI_{(ac)} = 57.23$ |
| $j = 2$ | -528.80 | $CSR_{(ac)} = 190.50$ |
| $j = 3$ | -590.85 | |
| $j = 4$ (EDS) | 1074.90 | |
| $j = sb$ | 13.20 | |

Analizando los ejemplos anteriores, se observa que la condición de menor $CSI_{(ac)}$ y mayor $CSR_{(ac)}$ se logra con un comportamiento, de cada participante j , en demanda perfectamente inelástica, donde $Xb_{(q)}(1^c, t) = 0$. Aún así, no existen incentivos económicos individuales o colectivos (o incluso de colusión) para adoptar algunos de estos tipos de comportamiento en situaciones límites.

3.7.2 Condición de oferta inelástica.

La elasticidad de la oferta es el grado en que la cantidad ofertada, responde a las variaciones de precios del mercado. Se habla de una oferta “perfectamente elástica” cuando la cantidad ofrecida puede variar, tanto aumentando como disminuyendo, permaneciendo inalterable el precio, o cuando pequeñas variaciones en el precio producen grandes variaciones en la cantidad ofrecida. Por otra parte, hay una oferta “perfectamente inelástica” cuando un cambio en el precio, sin importar su magnitud, no provoca ninguna variación en la cantidad ofrecida. Los casos límite a estudiar corresponden a aquellos con oferta nula de uno o más participantes; y por lo tanto se verán reflejados con valores $X_s = 0$ en sus TO. En lo sucesivo, consideramos varios casos de estudio.

A. Caso 1. Oferta inelástica límite para $j=1, 2, 3, 4$

En la Tabla 3.VII y 3.VIII, se fija $X_s(j^v, t) = 0$ para todos los participantes j . Aplicando el POPYCS [83] se obtiene la Fig. 3.8. Las valoraciones de los índices se muestran en la Tabla 3.XVIII. La CS inactiva, $CSI(t)$, representa aquella CS contratada que no es utilizada plenamente. Los valores acumulados (ac) de la $CSI(t)$ y de la $CSR(t)$, para todos los períodos t analizados, son $CSI_{(ac)}$ y $CSR_{(ac)}$, respectivamente.

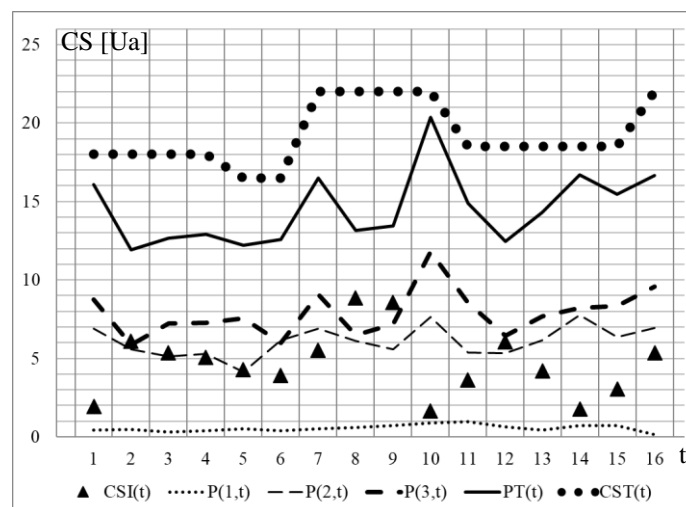


Fig. 3.8. Caso 1: Evoluciones de CS y potencias a lo largo de 16 períodos.

TABLA 3.XVIII - CASO 1: ÍNDICES DE EVALUACIÓN ECONÓMICA

| j | $Pr^D(j)$ | |
|---------------|-----------|-----------------------|
| $j = 1$ | -138.80 | $CSI_{(ac)} = 75.23$ |
| $j = 2$ | -575.20 | $CSR_{(ac)} = 172.50$ |
| $j = 3$ | -205.05 | |
| $j = 4$ (EDS) | 919.05 | |
| $j = sb$ | 0.00 | |

B. Caso 2. Oferta inelástica límite para $j=4$ (EDS)

En este caso se asume que sólo la EDS tiene un comportamiento inelástico. En la Tabla 3.VIII, se fija $Xs(j^v, t) = 0$ para $j=4$. Aplicando el POPYCS [83] se obtiene la Fig. 3.9. Las valoraciones de los índices se muestran en la Tabla 3.XIX.

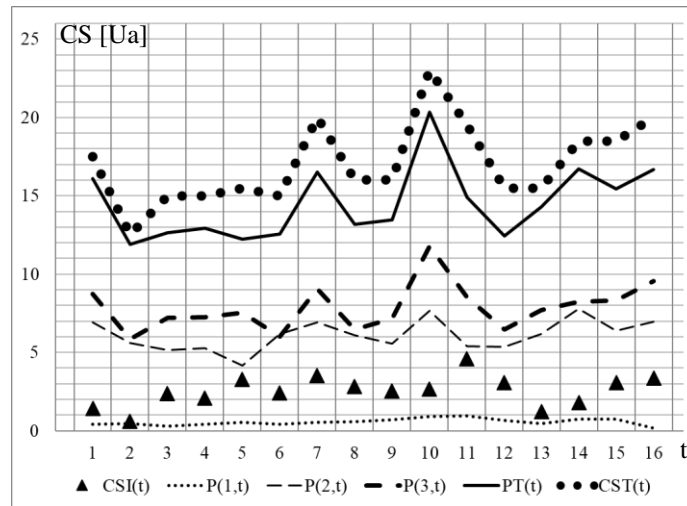


Fig. 3.9. Caso 2: Evoluciones de CS y potencias a lo largo de 16 períodos.

TABLA 3.XIX - CASO 2: ÍNDICES DE EVALUACIÓN ECONÓMICA

| j | $Pr^D(j)$ | |
|---------------|-----------|-----------------------|
| $j = 1$ | -169.60 | $CSI_{(ac)} = 40.73$ |
| $j = 2$ | -899.25 | $CSR_{(ac)} = 207.00$ |
| $j = 3$ | -1991.80 | |
| $j = 4$ (EDS) | 3039.15 | |
| $j = sb$ | 21.50 | |

C. Caso 3. Oferta inelástica límite para $j=1, 2, 3$

En este caso se asume que sólo las empresas tienen un comportamiento inelástico, pero no así la EDS. En la Tabla 3.VII, se fija $Xs(j^v, t) = 0$ para $j=1, 2, 3$. Aplicando el POPYCS [83] se obtiene la Fig. 3.10. Las valoraciones de los índices se muestran en la Tabla 3.XX.

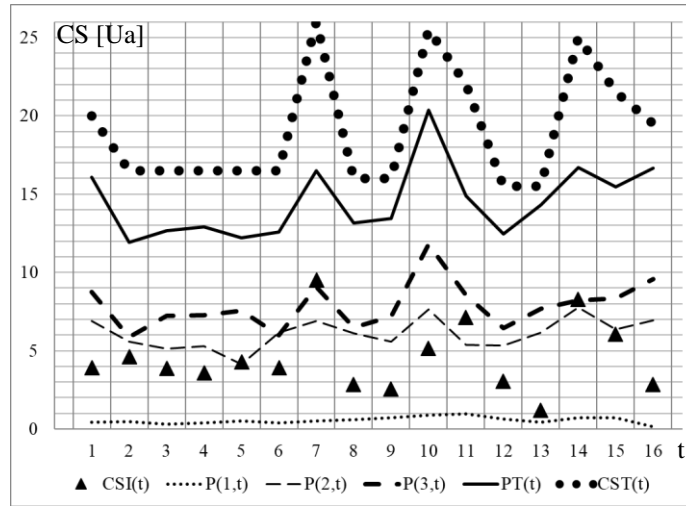


Fig. 3.10. Caso 3: Evoluciones de CS y potencias a lo largo de 16 períodos.

TABLA 3.XX - CASO 3: ÍNDICES DE EVALUACIÓN ECONÓMICA

| j | $\text{Pr}^D(j)$ | |
|---------------|------------------|-------------------------------------|
| $j = 1$ | -9.60 | $\text{CSI}_{(\text{ac})} = 72.73$ |
| $j = 2$ | -518.00 | $\text{CSR}_{(\text{ac})} = 175.00$ |
| $j = 3$ | -65.60 | |
| $j = 4$ (EDS) | 593.20 | |
| $j = sb$ | 0.00 | |

D. Caso 4. Oferta inelástica límite para $j=1$

Sólo la empresa $j=1$ tiene un comportamiento inelástico. En la Tabla 3.VII, se fija $Xs(1^v, t) = 0$. Aplicando el POPYCS [83] se obtiene la Tabla 3.XXI.

TABLA 3.XXI - CASO 4: ÍNDICES DE EVALUACIÓN ECONÓMICA

| j | $\text{Pr}^D(j)$ | |
|---------------|------------------|-------------------------------------|
| $j = 1$ | -32.40 | $\text{CSI}_{(\text{ac})} = 66.23$ |
| $j = 2$ | -417.40 | $\text{CSR}_{(\text{ac})} = 181.50$ |
| $j = 3$ | -193.75 | |
| $j = 4$ (EDS) | 635.75 | |
| $j = sb$ | 7.80 | |

E. Caso 5. Oferta inelástica límite para $j=2$

Sólo la empresa $j=2$ tiene un comportamiento inelástico. En la Tabla 3.VII, se fija $Xs(2^v, t) = 0$. Aplicando el POPYCS [83] se obtiene la Tabla 3.XXII.

TABLA 3.XXII - CASO 5: ÍNDICES DE EVALUACIÓN ECONÓMICA

| j | $Pr^D(j)$ | |
|---------------|-----------|-----------------------|
| $j = 1$ | 24.60 | $CSI_{(ac)} = 60.23$ |
| $j = 2$ | -359.05 | $CSR_{(ac)} = 187.50$ |
| $j = 3$ | -241.45 | |
| $j = 4$ (EDS) | 575.90 | |
| $j = sb$ | 0.00 | |

F. Caso 6. Oferta inelástica límite para $j=3$

Sólo la empresa $j=3$ tiene un comportamiento inelástico. En la Tabla 3.VII, se fija $Xs(3^v, t) = 0$. Aplicando el POPYCS [83] se obtiene la Tabla 3.XXIII.

TABLA 3.XXIII - CASO 6: ÍNDICES DE EVALUACIÓN ECONÓMICA

| j | $Pr^D(j)$ | |
|---------------|-----------|-----------------------|
| $j = 1$ | 31.55 | $CSI_{(ac)} = 49.73$ |
| $j = 2$ | -544.00 | $CSR_{(ac)} = 198.00$ |
| $j = 3$ | -161.75 | |
| $j = 4$ (EDS) | 661.00 | |
| $j = sb$ | 13.20 | |

Analizando estos últimos ejemplos, se observa que la condición de menor $CSI_{(ac)}$ y mayor $CSR_{(ac)}$ se logra con un comportamiento en oferta perfectamente inelástica de $j = 4$, donde $Xs_{(q)}(4^v, t) = 0$. Al igual que en condición de demanda inelástica, tampoco en este caso existen incentivos económicos individuales o colectivos para adoptar algunos de estos tipos de comportamiento en situaciones límites.

3.7.3 Negociación afectada por la cantidad de participantes.

En este apartado se analizan dos casos: A. una de las empresas del parque industrial se retira de la negociación, y B. el número de empresas participantes aumenta.

A. Una empresa se retira de la negociación

Cuando una empresa se retira de la negociación de CS, en la Tabla 3.VII se deben anular sus correspondientes TD y TO. A continuación se analizan los tres casos posibles, suponiendo que se retiran alternativamente las empresas 1, 2 o 3. Cuando se retira del juego la empresa $j=1$, y se aplica el POPYCS [83], se obtienen la Fig. 3.11 y la Tabla 3.XXIV. Al retirarse las empresas $j=2$ y $j=3$, se obtienen las Tablas 3.XXV y 3.XXVI, respectivamente.

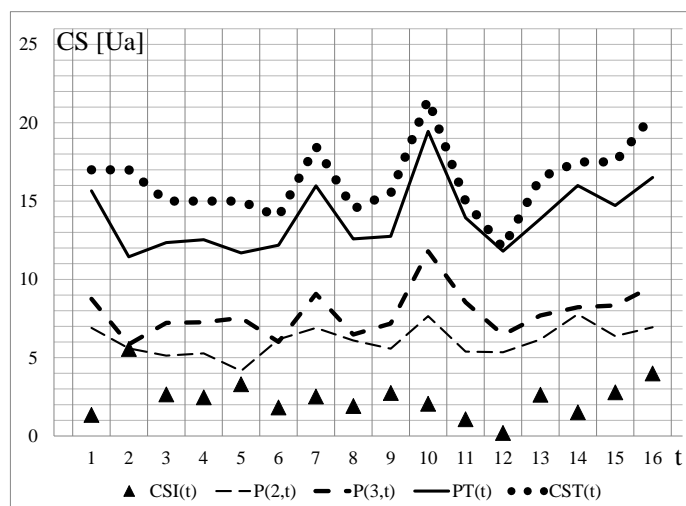


Fig. 3.11. Sin $j=1$. Evoluciones de CS y potencias a lo largo de 16 períodos.

TABLA 3.XXIV: ÍNDICES DE EVALUACIÓN ECONÓMICA, SIN $j = 1$

| J | $Pr^D(j)$ | |
|---------------|-----------|-----------------------|
| $j = 1$ | - | $CSI_{(ac)} = 38.59$ |
| $j = 2$ | -362.50 | $CSR_{(ac)} = 218.00$ |
| $j = 3$ | -311.00 | |
| $j = 4$ (EDS) | 663.90 | |
| $j = sb$ | 9.60 | |

TABLA 3.XXV: ÍNDICES DE EVALUACIÓN ECONÓMICA, SIN $j = 2$

| j | $Pr^D(j)$ | |
|---------------|-----------|-----------------------|
| $j = 1$ | -102.00 | $CSI_{(ac)} = 61.43$ |
| $j = 2$ | - | $CSR_{(ac)} = 283.75$ |
| $j = 3$ | -191.85 | |
| $j = 4$ (EDS) | 252.25 | |
| $j = sb$ | 41.60 | |

TABLA 3.XXVI: ÍNDICES DE EVALUACIÓN ECONÓMICA, SIN $j = 3$

| j | $Pr^D(j)$ | |
|---------------|-----------|-----------------------|
| $j = 1$ | -57.80 | $CSI_{(ac)} = 36.45$ |
| $j = 2$ | -299.00 | $CSR_{(ac)} = 337.25$ |
| $j = 3$ | - | |
| $j = 4$ (EDS) | 353.90 | |
| $j = sb$ | 2.90 | |

Comparando los resultados obtenidos con los de la Tabla 3.XI, se puede observar que ningún jugador tendría algún incentivo para modificar individualmente su estrategia, ya que se perjudica (en caso de mantener el perfil de comportamiento, paga una

penalización). El mejor resultado para cada uno de ellos (considerados individualmente) continúa siendo el presentado en la Tabla 3.XI.

B. El número de empresas aumenta

Este ejemplo ampliado considera la duplicación de empresas ($N = 6$ participantes), y una EDS ($j = 7$) con una CS de 555 [Ua]. Se mantienen los mismos valores de potencias, CS, TD y TO declarados por los participantes $j = 1, 2, 3$ del apartado 3.7.1. La Tabla 3.XXVII provee la información complementaria necesaria para $j = 4, 5, 6$, y para el caso de la estrategia estática con CS constante.

TABLA 3.XXVII: $P(j,t)$ Y $CS(j,t,C(t))$ EN [Ua], POR PARTICIPANTE j EN EL PERÍODO t

| t | $P(4,t)$ | $CS(4,t,1)$ | $P(5,t)$ | $CS(5,t,1)$ | $P(6,t)$ | $CS(6,t,1)$ | $PT(t)$ | $CST(t)$ |
|-----|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|---------|----------|
| 1 | 68.60 | 152.70 | 172.65 | 194.30 | 131.25 | 176.90 | 388.58 | 544.50 |
| 2 | 73.76 | 152.70 | 139.90 | 194.30 | 87.70 | 176.90 | 313.27 | 544.50 |
| 3 | 48.82 | 152.70 | 128.18 | 194.30 | 108.27 | 176.90 | 297.91 | 544.50 |
| 4 | 63.23 | 152.70 | 131.82 | 194.30 | 108.87 | 176.90 | 316.84 | 544.50 |
| 5 | 84.19 | 152.70 | 103.78 | 194.30 | 113.10 | 176.90 | 313.30 | 544.50 |
| 6 | 63.12 | 152.70 | 154.25 | 194.30 | 90.12 | 176.90 | 320.06 | 544.50 |
| 7 | 83.33 | 152.70 | 172.53 | 194.30 | 136.09 | 176.90 | 408.45 | 544.50 |
| 8 | 92.66 | 152.70 | 152.54 | 194.30 | 97.25 | 176.90 | 355.61 | 544.50 |
| 9 | 112.15 | 152.70 | 139.28 | 194.30 | 107.66 | 176.90 | 372.54 | 544.50 |
| 10 | 144.22 | 152.70 | 191.37 | 194.30 | 176.88 | 176.90 | 532.82 | 544.50 |
| 11 | 152.67 | 152.70 | 134.83 | 194.30 | 128.13 | 176.90 | 430.51 | 544.50 |
| 12 | 102.56 | 152.70 | 133.70 | 194.30 | 96.88 | 176.90 | 345.58 | 544.50 |
| 13 | 71.11 | 152.70 | 154.07 | 194.30 | 115.48 | 176.90 | 354.96 | 544.50 |
| 14 | 115.37 | 152.70 | 194.30 | 194.30 | 123.31 | 176.90 | 449.68 | 544.50 |
| 15 | 117.22 | 152.70 | 159.43 | 194.30 | 125.00 | 176.90 | 417.09 | 544.50 |
| 16 | 23.81 | 152.70 | 173.61 | 194.30 | 143.45 | 176.90 | 357.53 | 544.50 |

A continuación, se analiza la estrategia dinámica de asignación de CS y precios. La Tabla 3.XXVIII informa las $TD(j^c, t)$ y $TO(j^v, t)$. La Fig. 3.12 muestra el comportamiento de potencias y CS de todo el sistema. Las Tablas 3.XXIX y 3.XXX exponen las CS y precios obtenidos con la estrategia dinámica.

TABLA 3.XXVIII: $TD(j^c, t)$ Y $TO(j^v, t)$, POR PARTICIPANTE j EN EL PERÍODO t

$$Xb [Ua] - Xs [Ua] - b [\$a] - s [\$a]$$

| TD | | TO | | TD | | TO | | TD | | TO | |
|------------|------|------------|------|------------|------|------------|------|------------|------|------------|------|
| $(4^c, t)$ | | $(4^v, t)$ | | $(5^c, t)$ | | $(5^v, t)$ | | $(6^c, t)$ | | $(6^v, t)$ | |
| b | Xb | Xs | s | B | Xb | Xs | s | b | Xb | Xs | s |
| 5.70 | 0.3 | 1.0 | 3.75 | 5.65 | 0.3 | 1.0 | 3.65 | 5.80 | 0.3 | 1.0 | 3.80 |
| 4.70 | 4.0 | 2.0 | 7.20 | 4.65 | 4.0 | 2.0 | 7.10 | 4.80 | 4.0 | 2.0 | 7.30 |
| 3.70 | 7.0 | 3.0 | 8.65 | 3.60 | 7.0 | 3.0 | 8.55 | 3.00 | 7.0 | 3.0 | 8.75 |
| 2.20 | 10.0 | 4.0 | 9.70 | 2.10 | 10.0 | 4.0 | 9.60 | 2.30 | 10.0 | 4.0 | 9.80 |

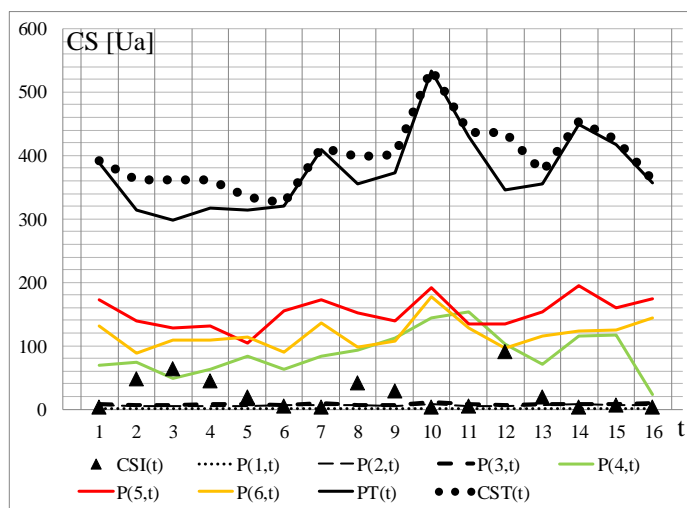


Fig. 3.12. Evoluciones de CS y potencias a lo largo de 16 períodos. Caso de fracciones de CS contratadas variables entre períodos t .

Por último, la Tabla 3.XXXI presenta los índices de evaluación económica. Para el cálculo de $\text{Pr}^E(j)$ se utilizaron los siguientes valores: $\text{CS}^E(1) = 1.0$ [Ua]; $\text{CS}^E(2) = 7.80$ [Ua]; $\text{CS}^E(3) = 11.80$ [Ua]; $\text{CS}^E(4) = 152.70$ [Ua]; $\text{CS}^E(5) = 194.30$ [Ua]; y $\text{CS}^E(6) = 176.90$ [Ua]. Al igual que en el Ejemplo del apartado 3.7.1, todos los participantes logran un beneficio con la estrategia dinámica. Particularmente, los participantes de menor potencia ($j = 1, 2, 3$) perciben un ingreso monetario; mientras que la EDS recibe un ingreso inferior al que obtendría con la estrategia estática clásica. En todos los casos presentados y analizados se observa que un mayor número de participantes j (con sus w -ésimas y q -ésimas ofertas) arroja $\text{Pr}^D(j)$ más favorables para los participantes j que intervinieron.

TABLA 3.XXIX: $\text{CS}(j,t,C(t))$ EN [Ua], POR PARTICIPANTE j EN EL PERÍODO t

| t | $C(t)$ | $(1,t,C(t))$ | $(2,t,C(t))$ | $(3,t,C(t))$ | $(4,t,C(t))$ | $(5,t,C(t))$ | $(6,t,C(t))$ | $(7,t,C(t))$ |
|-----|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 87 | 0.75 | 7.10 | 9.25 | 69.40 | 173.20 | 132.45 | -392.15 |
| 2 | 19 | 0.75 | 6,45 | 6.75 | 74.70 | 141.20 | 132.45 | -362.30 |
| 3 | 2 | 0.75 | 6,45 | 10.25 | 73.70 | 141.20 | 129.95 | -362.30 |
| 4 | 1 | 0.75 | 6,45 | 10.25 | 73.70 | 141.20 | 129.95 | -362.30 |
| 5 | 22 | 0.75 | 4,50 | 8.25 | 86.15 | 104.20 | 129.95 | -333.80 |
| 6 | 24 | 0.75 | 6,70 | 7.10 | 63.65 | 154.65 | 92.45 | -325.30 |
| 7 | 30 | 0.75 | 7,10 | 9.45 | 84.55 | 173.70 | 136.65 | -412.20 |
| 8 | 13 | 0.75 | 6,45 | 6.95 | 92.85 | 153.70 | 136.65 | -397.35 |
| 9 | 13 | 0.75 | 6,45 | 7.45 | 113.25 | 141.05 | 132.65 | -401.60 |
| 10 | 34 | 1.35 | 8,45 | 12.75 | 144.85 | 191.75 | 177.20 | -536.35 |
| 11 | 15 | 1.35 | 7,15 | 8.75 | 153.15 | 136.75 | 129.20 | -436.35 |
| 12 | 1 | 1.35 | 7,15 | 8.75 | 153.15 | 136.75 | 129.20 | -436.35 |
| 13 | 30 | 0.55 | 7,15 | 8.75 | 73.15 | 155.70 | 129.20 | -374.50 |
| 14 | 18 | 0.95 | 8,50 | 8.75 | 115.40 | 195.00 | 124.70 | -453.30 |
| 15 | 9 | 0.95 | 7,85 | 8.75 | 121.55 | 160.00 | 125.35 | -424.45 |
| 16 | 54 | 0.20 | 7,85 | 9.70 | 24.40 | 174.25 | 144.45 | -360.85 |

TABLA 3.XXX: $Pr(j,t,C(t))$ EN (\$a), POR PARTICIPANTE j EN EL PERÍODO t

| t | $C(t)$ | $(1,t,C(t))$ | $(2,t,C(t))$ | $(3,t,C(t))$ | $(4,t,C(t))$ | $(5,t,C(t))$ | $(6,t,C(t))$ | $(7,t,C(t))$ | $(sb,t,C(t))$ |
|-----|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| 1 | 87 | 3.00 | -21.90 | -2.15 | -147.80 | -295.85 | -388.45 | 816.55 | 36.60 |
| 2 | 19 | 3.00 | -18.90 | 1.35 | -158.80 | -235.05 | -388.45 | 730.55 | 66.30 |
| 3 | 2 | 3.00 | -18.90 | -7.95 | -154.15 | -235.05 | -383.80 | 730.55 | 66.30 |
| 4 | 1 | 3.00 | -18.90 | -7.95 | -154.15 | -235.05 | -383.80 | 730.55 | 66.30 |
| 5 | 22 | 3.00 | -9.90 | -4.15 | -176.35 | -166.65 | -383.80 | 646.55 | 91.30 |
| 6 | 24 | 3.00 | 18.35 | -0.35 | -156.75 | -256.85 | -346.75 | 632.90 | 106.45 |
| 7 | 30 | 3.00 | 23.55 | -2.50 | -193.15 | -291.80 | -481.35 | 799.65 | 142.60 |
| 8 | 13 | 3.00 | 26.55 | 1.00 | -207.95 | -253.80 | -481.35 | 751.15 | 161.40 |
| 9 | 13 | 3.00 | 26.55 | 0.45 | -246.00 | -226.15 | -476.50 | 747.15 | 171.50 |
| 10 | 34 | 5.80 | 19.55 | 1.65 | -319.65 | -309.70 | -614.25 | 999.80 | 216.80 |
| 11 | 15 | 5.80 | 25.55 | 5.30 | -334.45 | -267.90 | -583.85 | 929.60 | 219.95 |
| 12 | 1 | 5.80 | 25.55 | 5.30 | -334.45 | -267.90 | -583.85 | 929.60 | 219.95 |
| 13 | 30 | 11.00 | 25.55 | 5.30 | -273.65 | -314.70 | -583.85 | 904.10 | 226.25 |
| 14 | 18 | 13.00 | 19.25 | 5.30 | -356.55 | -378.80 | -570.95 | 1021.50 | 247.25 |
| 15 | 9 | 13.00 | 22.85 | 5.30 | -363.95 | -352.20 | -574.65 | 1002.10 | 247.55 |
| 16 | 54 | 17.65 | 22.85 | 3.75 | -179.50 | -380.30 | -608.20 | 788.55 | 335.20 |

TABLA 3.XXXI: ÍNDICES DE EVALUACIÓN ECONÓMICA (PARA T = 16)

| j | $Pr^D(j)$ | $Pr^E(j)$ |
|---------------|-----------|-------------------------|
| $j = 1$ | 99.05 | -184.51 |
| $j = 2$ | 167.65 | -385.97 |
| $j = 3$ | 9.65 | -77.28 |
| $j = 4$ | -3757.30 | -6627.25 |
| $j = 5$ | -4467.75 | -5591.47 |
| $j = 6$ | -7833.85 | -10527.41 |
| $j = 7$ (EDS) | 13160.85 | 23393.90 ^(*) |
| $j = sb$ | 2621.70 | - |

(*) Calculado como: $-\{CS^E(1) + CS^E(2) + \dots + CS^E(6)\}$.

3.8 Conclusiones

Se estudiaron las complejas interacciones que pueden existir cuando se procura negociar CS entre un conjunto de empresas conectadas a un mismo sistema de distribución, con demanda abastecida por una única distribuidora. En esta propuesta, mediante un juego no cooperativo, cada participante define estratégicamente la fracción de CS que está dispuesto a vender o comprar, para: 1) minimizar la $CSI(t)$, 2) maximizar la $CSR(t)$, y 3) no ser penalizado. Los precios de negociación en el mercado de CS se determinan mediante un enfoque basado en SD. El procedimiento propuesto (PAPYCS) es una estrategia dinámica organizada y metódica, que permite una distribución de la CS con una asignación simultánea de precios entre los diferentes agentes intervinientes (tanto industrias como EDS). El procedimiento permite una implementación computacional relativamente sencilla, y los tiempos de ejecución son prácticamente despreciables en una

computadora estándar de escritorio. Estos aspectos, tornan atractivo al PAPYCS en vista de alguna futura aplicación en un sistema real.

Los ejemplos de simulación permitieron comparar estrategias estáticas y dinámicas de asignación de CS y precios. En las estrategias estáticas, las CS contratadas constantes originaron precios más elevados que los correspondientes a las estrategias dinámicas. En estas últimas, la reducción de precios se logró gracias a la posibilidad de admitir variabilidad en la CS contratada en cada período. Además, la seguridad de los datos de la transacción queda determinada por la relación biunívoca existente entre precio-participante, dado que no se originan dos valores monetarios iguales en ventas o compras. Algunos jugadores pueden contribuir más que otros, pueden poseer diferente poder de negociación (por ejemplo, amenazar con quitar todo el excedente, como en el caso de la EDS), pero aun así, no existen incentivos económicos individuales o colectivos (o efecto de colusión) para adoptar algunos de estos tipos de comportamiento en situaciones límites. El mecanismo de negociación propuesto garantiza alcanzar un punto de equilibrio donde a todos los participantes le conviene que: i- participen un mayor número de jugadores, ii- jueguen con sus tablas de preferencias con una posición próxima a la de los demás jugadores, y iii- si algún jugador se inclina por una posición límite, lo único que logra es empeorar sus beneficios o el de otro u otros participantes.

La estrategia propuesta puede ser útil como base para el posterior desarrollo de un modelo de juego dinámico más elaborado, en el cual los jugadores puedan tomar decisiones a largo plazo con respecto a sus procesos de comercialización de fracciones de CS. Asimismo, es importante notar que el algoritmo de negociación es general, en el sentido que puede ser aplicado a diferentes tipos de servicios transaccionales típicos en un parque industrial, como pueden ser la energía eléctrica, el gas natural, el agua, otros combustibles o gases, etc.

4 Modelado de parques industriales

4.1 Introducción

En términos generales, en un IP se radica un conjunto de empresas que comparten recursos con el objetivo de aumentar la rentabilidad en un mismo espacio territorial. Por otra parte, un EIP agrega sobre el IP el objetivo de reducir el impacto ambiental [84], lo cual puede contribuir significativamente a la creación de una economía sostenible. A pesar de esta perspectiva, el desarrollo real de cualquier parque es un desafío, ya que deben considerarse una variedad de factores. No solo son relevantes los factores técnicos, económicos y ambientales, sino también numerosas relaciones entre diferentes partes interesadas, como empresas, organismos gubernamentales y comunidades locales.

Romero y Ruiz [85] utilizan la teoría de sistemas complejos adaptativos para modelar y simular operaciones de EIP, integrando los aspectos económicos, ambientales y sociales; y también exploran cómo la dinámica de sistemas y el modelado basado en agentes pueden usarse para modelar y simular la evolución de los EIP [86]. Rosa y Beloborodko [87] proponen una herramienta de apoyo a la toma de decisiones cualitativas para evaluar la simbiosis industrial existente. Se utiliza un sistema de puntuación que tiene en cuenta la proximidad geográfica, el desempeño económico y ecológico. Cao et al. [88] han utilizado modelos basados en agentes para simular el comportamiento dinámico de un EIP hipotético. Coté et al. [20] y Chertow [89] describen enfoques existentes y posibles para diseñar parques, tales como directrices, emparejamiento de insumos y productos, procesos de partes interesadas y determinación de presupuestos de materiales. Haskins [90], [91] y Maya Sopha et al. [92] identifican disciplinas (como la gestión de cadena de suministro) que pueden contribuir a una mejor comprensión y desarrollo de los parques. La variedad de partes interesadas que resultan involucradas en el desarrollo de un parque puede requerir de un análisis sociológico específico. Eilering y Vermeulen [93] identifican una serie de factores sociales habilitantes para el desarrollo exitoso de un parque. Spekkink [94], [95] utiliza gráficos de secuencia de eventos para identificar aquellos claves para definir la base y la evolución de un parque. Ashton [96] y Zeng et al. [97] analizan redes sociales para estudiar a los actores involucrados en la evolución y la vulnerabilidad de los parques. Además, en los últimos años se han presentado varios enfoques de modelado y optimización [36], [98], [99], [100], [101]. Por

lo general, el objetivo de optimización es encontrar redes de intercambio de subproductos que maximicen el desempeño económico y ambiental.

En resumen, la literatura existente sobre el desarrollo de IP se ocupa principalmente de su evolución e identificación de la configuración óptima de las relaciones de intercambio. Sin embargo, no se han abordado aspectos como, por ejemplo, la evaluación del desempeño de un IP en diferentes contextos económicos y regulatorios, o enfoques sobre las diferentes configuraciones potenciales de un IP que puedan brindar valor a las partes interesadas [84].

En el presente capítulo se establece un marco conceptual destinado a capturar, en un contexto técnico-económico y regulatorio, las relaciones que subyacen entre los distintos actores (empresas o industrias) radicados en un IP. Además, se ofrece una propuesta de valor, atendiendo a las distintas configuraciones de los servicios (SE y SNE), conectando los valores de las diferentes empresas con los de sus futuros compradores.

4.2 Modelo de gestión de servicios y CS actual en los IP

En esta sección se describen algunos aspectos generales sobre la conformación de los IP, focalizando en las empresas intervinientes y en los SE y SNE actuales, donde, por lo general, se cuenta con servicios públicos de provisión de energía eléctrica (EL), gas natural (GN) y agua potable (APt). En la Fig. 4.1 se esquematiza un caso particular arbitrario de configuración o *layout* de un IP, donde se pueden observar los AP de: GN, EL y APt, y su vínculo con y entre las empresas externas e internas involucradas (E_{ext} y E_{int} , respectivamente).

4.2.1 Actores participantes

- A. E_{ext} : hace referencia a una empresa externa. Típicamente, se trata de una empresa de suministro (EDS), caracterizada por: i- ser la propietaria o concesionaria del AP, ii- tener a cargo la distribución del SE o SNE, y iii- cumplir con el rol de asignar CS del AP a cada empresa interna del parque. Se asumirá que existe — como es usual en la actualidad— una E_{ext} por cada SE o SNE (estableciéndose entonces una correspondencia biunívoca). Los SE y SNE provienen de un recurso distribuido o del mercado.
- B. E_{int} : hace referencia a una empresa o industria interna, radicada en el parque. Cada E_{int} , decide la forma de provisión pretendida para los SE y SNE, pero no así el costo de la fracción de CS, el cual es potestad de cada E_{ext} .

C. *Recurso Distribuido (RD)*: se trata de tecnologías a pequeña escala y fuentes renovables o no renovables, para generar (RG), transformar (RT) o almacenar (RA) los SE o SNE allí donde es más útil, es decir cerca del usuario final.

En términos de la realidad que viven los IP existentes, se realizan las siguientes observaciones: i- no es factible celebrar contratos entre dos o más E_{int} sobre SE o SNE; ii- la fracción de CS contratada es fija para cualquiera de los SE y SNE, con perjuicio para el desarrollo de los servicios intermitentes (como por ejemplo, las energías renovables de origen solar y eólico); y iii- siempre es necesario la existencia de una E_{ext} que administre, opere y mantenga el AP, porque en caso contrario el intercambio de SE y SNE es difícil de materializar; iv- en general, los IP no incorporan la posibilidad de generar, transformar y almacenar diferentes tipos de recursos o servicios; y v- en general, las empresas suelen ser reticentes a la entrega de datos.

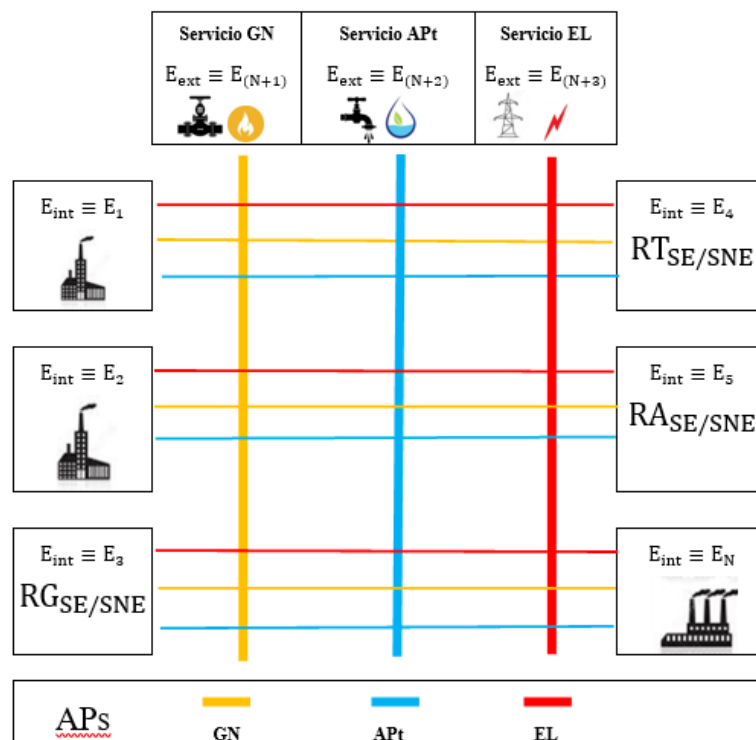


Fig. 4.1. Layout esquemático de un IP con N E_{int} , 3 E_{ext} , (1 SNE y 2 SE).

4.2.2 Metodología de contratación de los servicios

En Argentina, la comercialización y contratación de EL actualmente se efectúa a través de tres formas diferentes [102]:

- 1- Mercado Spot: Los precios varían en forma horaria de acuerdo a la variación de la demanda y a la disponibilidad de los equipos y de la potencia que haya en cada

momento. El ingreso de máquinas para abastecer la demanda se hace con un orden prioritario de costos (es decir, entran en servicio primero aquellas más económicas).

- 2- Mercado Estacional: Se establecen dos períodos semestrales en el año, con fechas de comienzo el 1° de mayo y el 1° de noviembre relacionados con las épocas de hidraulicidad. En cada período estacional se define un precio estabilizado de energía, en función del costo esperado durante esos seis meses. Los distribuidores compran a ese precio y las diferencias con respecto a los precios reales que se produjeron en el Mercado Spot, se cargan al período siguiente.
- 3- Mercado a Término: Se establece entre un generador y un distribuidor (o un gran usuario) con la firma de un contrato. Se determinan las condiciones de entrega de energía y de pago, como así también los plazos de vigencia y los resarcimientos de una de las partes por incumplimiento de la otra. Los precios se pactan libremente entre las partes.

Para la comercialización y contratación de GN existen dos modalidades [103].

- 1- Venta “A Término”: Se pone a disposición del cliente el total del volumen de GN requerido para el funcionamiento de su establecimiento industrial o comercial.
- 2- Venta “Spot”: Los desajustes diarios entre oferta y demanda se corrigen enlazando diariamente los excedentes de los productores con los faltantes de las demandas, bajo un marco de condiciones pautadas.

Ambas estrategias de ventas están administradas por el Mercado Electrónico de Gas (MEG) S.A., entidad creada por la Bolsa de Comercio de Buenos Aires mediante un acuerdo firmado el 9 de noviembre de 2004 con la entonces Secretaría de Energía dependiente del Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios.

La comercialización y contratación de APt y efluentes es un mercado distribuido y atomizado, por lo cual se cobra el consumo, en base a reglas de servicio y calidad del agua entregada, no existiendo mercados centralizados, organizados y ordenados como en el caso de GN y EL.

En general la CS es puesta a disposición por la E_{ext} proveedora o prestataria del servicio (EL, GN y APt y Efluentes) en función de las necesidades de consumo declaradas por el usuario. Según la naturaleza del servicio, dicha CS tiene diferentes acepciones. Por ejemplo, para GN se denomina Capacidad Diaria Reservada o Reserva de Capacidad;

para APt y efluentes se denomina Capacidad Hidráulica; y para EL se denomina CS. En el caso de la provincia de Santa Fe, existen algunas particularidades:

i- La Empresa Provincial de Energía de Santa Fe define la capacidad de suministro en pico y fuera de pico [80], siendo además parte de la tarifa eléctrica.

ii- La Empresa de Suministro de GN (para Santa Fe, la prestataria es Litoral Gas), la CS se define como Capacidad Diaria Reservada o Reserva de Capacidad, y según el tipo de contrato celebrado, forma parte del cálculo de la tarifa o no [81]. El ente regulador es el Ente Nacional Regulador del Gas (ENARGAS).

iii-La Empresa Prestataria de APt y Efluentes (para Santa Fe, la prestataria es Aguas Santafesinas), declara la CS como Capacidad Hidráulica, y en principio no forma parte del cálculo de la tarifa. El ente regulador es el Ente Regulador de Servicios Sanitarios (ENRESS), de la provincia de Santa Fe. [82].

En ninguno de los casos anteriores existe la figura de un mercado administrador. En cambio, los valores se determinan en función de lo que el concesionario establezca para un cierto período de tiempo.

Los términos Capacidad de Suministro, Capacidad Diaria Reservada o Reserva de Capacidad y Capacidad Hidráulica suelen ser usados en forma indistinta. A los efectos de unificar la nomenclatura, utilizaremos como único término, capacidad de suministro: CS. En este sentido, la CS se constituye en un elemento de negociación. En la modalidad de contrato actual es un costo fijo, pero en la propuesta de esta tesis, se transforma en un costo variable, como ya se lo consideró en el Capítulo 3. En el servicio de EL, la CS se establece siempre, y su valor depende, entre otras cosas, de la franja horaria en la que se use el servicio. En el servicio de GN solo aplica para determinada clase de usuario, al igual que para APt y efluentes.

4.3 Modelo de gestión de servicios CS propuesto para los IP

Tomando como base la estructura del modelo anteriormente descrito para un IP (Fig. 4.1), se pretende ahora mejorar la estrategia de negociación de las CS involucradas en las empresas. A tal efecto, se propone como mecanismo de negociación una generalización del PAPYCS (Capítulo 3), radicando en este punto el principal aporte del presente Capítulo. Para ello, asociado a la Fig 4.1 se amplía el rol del *Subastador*. El *Subastador* tendrá ahora la función de supervisar, ejecutar y administrar un procedimiento de

negociación más complejo, por cuanto intervendrán diferentes empresas y servicios. Además, el *Subastador* mantiene sus funciones de procesar los datos, dar a conocer los resultados de las subastas, y actualizar e informar sobre los cobros, pagos y asignación de CS a cada una de las empresas intervinientes. En este modelo, la información acerca del posicionamiento de cada actor, es transparente y pública para todos los agentes involucrados.

El modelo propuesto, además, amplía los componentes que intervienen en un IP, por inclusión de los siguientes RD (algunos podrían ya estar contemplados en el modelo original, pero no es lo usual o frecuente en los IP existentes):

- i- Recurso de Transformación de un SE o SNE ($RT_{SE/SNE}$): permite transformar un SE (o un SNE) existente, en otro, para su posterior uso, almacenamiento o provisión, utilizando como insumo un energético (o no energético) comercializado.
- ii- Recurso de Almacenamiento de un SE o SNE ($RA_{SE/SNE}$): permite almacenar estratégicamente un recurso para su uso o comercialización (compra o venta).
- iii- Recurso de Generación de un SE o SNE ($RG_{SE/SNE}$): permite obtener un recurso genuino para su posterior uso, almacenamiento o provisión, utilizando como insumo un energético (o no energético) inicialmente no comercializado.

Cada uno de estos RD puede pertenecer a una E_{int} que tiene otra función productiva principal, o ser una E_{int} dedicada exclusivamente a operar RD. Independientemente del caso, siempre serán consideradas E_{int} . Los $RT_{SE/SNE}$ posibles son: de gas natural a electricidad (GN-EL), de combustibles líquidos a electricidad (CL-EL), de gas natural a vapor de proceso (GN-VP), de electricidad a gas industrial (EL-GI), de agua de efluentes a agua potable (AEf-APt), de agua de efluentes a agua tratada (AEf-ATr), etc. Los $RA_{SE/RN}$ posibles son: de electricidad (A-EL), de gas natural (A-GN), de combustibles líquidos (A-CL), de agua potable (A-APt), de agua tratada (A-ATr), etc. Las $RG_{SE/RN}$ posibles son: de energía solar a electricidad (ES-EL), de energía eólica a electricidad (EO-EL), de agua de pozo a agua potable (APz-APt), etc.

4.3.1 Pautas, procedimientos, y ejemplo sintético para negociar CS de SE y SNE

A los efectos de poder avanzar hacia un primer mecanismo de negociación de CS de SE y SNE que sea lo suficientemente simple, se adoptan las pautas que se describen a continuación:

- 1.- Toda empresa o industria que pertenece al IP, y que esté conectada a algún AP, podrá participar del proceso de negociación de CS de un SE o SNE. En tal caso, estará sujeta al nuevo mecanismo PAPYCS extendido.
- 2.- La gestión general de los procesos de negociación será realizada por un *Subastador*, como ente independiente en el IP. El *Subastador* será quién decidirá en qué momento se abrirá una etapa para la negociación de CS, comunicándolo a las empresas con una anticipación lo suficientemente amplia como para que todas puedan posicionarse estratégicamente.
- 3.- No existirán negociaciones simultáneas de CS de SE y SNE. Se habilitará la negociación de una determinada CS de solo un SE o un SNE, y hasta que la misma no se cierre, no se podrá iniciar una nueva. Esto será así hasta concluir con todos y cada uno de los SE y SNE vinculados al IP. El conjunto de las negociaciones de CS asociadas al SE o SNE, definidos por el *Subastador*, son propias a cada período. Por otra parte, se busca que cada participante no conozca las decisiones y, estrategias que adopta el resto, buscando que las mismas sean inherentes a cada uno, no dando lugar a ventajas competitivas.
- 4.- Antes del inicio de una negociación de CS, cada empresa (interna o externa) declarará los datos requeridos por el *Subastador* para poder ejecutar el procedimiento de asignaciones de fracciones de CS y de sus correspondientes precios entre todos los participantes. El posicionamiento de cada empresa como oferente o demandante de un recurso determinado es una atribución propia, que fijará en función del conocimiento que tenga esa empresa de su realidad actual, de su proyección futura y del posicionamiento actual de las otras empresas del IP.
- 5.- Definidas las condiciones anteriores, el *Subastador* dará inicio al conjunto de negociaciones de CS en forma secuencial y propias a cada período, para cada una de los SE y SNE, utilizándose para ello el mecanismo extendido del PAPYCS desarrollado en el Capítulo 3.
- 6.- Finalizada la subasta, quedará definido el nuevo escenario para todas las empresas del IP. Se cerrará la negociación actual actualizando los valores de precio y fracción de CS, y el *Subastador* habilitará la siguiente negociación en el momento que corresponda.

A modo de ejemplo, para clarificar lo comentado, en la Fig. 4.2 se esquematiza un caso particular arbitrario de configuración o *layout* de un IP donde existe una red de distribución de algunos SE, que no necesariamente alcanzan a todas las E_{int} . Además, hay una cierta cantidad de E_{ext} , donde cada una sólo podrá proveer un único tipo de SE. Se asumirá que hay cuatro E_{ext} distribuidoras: $\{E_{12}, E_{13}, E_{14}, E_{15}\}$, de las cuales: (i) sólo dos E_{ext} tienen redes de distribución masiva de esos SE alcanzando a todas las E_{int} , una proveedora de GN, $\{E_{12}\}$, y otra de EL, $\{E_{13}\}$; y (ii) las restantes, radicadas en el mismo IP, tendrán un sistema de distribución sólo parcial, alcanzando a sólo algunas de ellas. Se asume la existencia de 11 E_{int} radicadas. Las E_{int} $\{E_1, E_5, E_6, E_{10}\}$ comparten un sistema de distribución de CL a cargo de $\{E_{15}\}$, mientras que las E_{int} $\{E_3, E_6, E_7, E_8, E_{11}\}$ comparten un sistema de distribución de VP a cargo de $\{E_{14}\}$. En esta configuración, las empresas $\{E_2, E_4, E_9\}$ tienen acceso solamente a EL y GN. En contrapartida, E_6 es la única empresa que tiene acceso a los 4 SE existentes, y en particular, es la más grande y variada del IP, disponiendo de capacidades de transformación y de almacenamiento de todos los recursos existentes. En cambio, E_2 y E_4 sólo tienen acceso a EL y GN a partir de las respectivas redes, pero no disponen de recursos de transformación ni de almacenamiento.

Para cada E_{int} es de interés saber la disponibilidad de CS remanente del AP — $CSR(t)$ — de cada E_{ext} , con el fin de asegurar sus requerimientos. Para cada E_{ext} es de interés informar la $CSR(t)$ a las E_{int} con el fin de continuar vendiendo CS, a sabiendas para ambos que, a cada E_{ext} no le interesa conocer si cada E_{int} consume, almacena o inyecta SE o SNE al AP, sino que sólo le interesa saber si cada E_{int} requiere o no de CS. La información detallada de $CSR(t)$ para cada distribuidora (E_{ext}), puede ser organizada en un formato matricial, como se indica en la Tabla 4.1 respondiendo al ejemplo indicado.

En el modelo propuesto es razonable pensar que toda empresa del parque conoce el *layout* (Fig. 4.2) y la $CSR(t)$ de cada distribuidora de SE (Tabla 4.I). Es decir, que cada empresa sabe o puede intuir qué posibilidades tiene (o no) de poder realizar transacciones de determinado servicio con otra empresa.

Retomando el ejemplo, toda E_{int} podría negociar GN (o EL) con cualquier otra E_{int} o con la E_{ext} proveedora de GN (o EL). Mientras que una E_{int} como la E_8 , sólo podrá planear negociar VP con E_3, E_6, E_7 o E_{11} . Por otra parte, E_6 podría planear una compra de GN para almacenamiento, generación de EL o VP, y posterior venta de GN, EL o VP. De esta

manera, las alternativas de negociación son extremadamente variadas, dependiendo del *layout* del IP, de las necesidades puntuales de cada empresa de un SE o SNE dado, de las capacidades de generación / obtención / transformación de SE y SNE de cada empresa, de las posibilidades de almacenamiento de uno o más SE y SNE, de la CS puesta a disposición por cada E_{ext} , etc.

Las posibilidades de negociación de SE y SNE de cada empresa dependerán no sólo del *layout* del parque y de los recursos existentes, sino también de las ofertas realizadas por las empresas proveedoras, de las necesidades actuales propias de cada empresa, y de las expectativas de producción o negocio a futuro. Por ejemplo, admitamos que E_6 dispone de una microturbina de GN, y E_{10} de un moto-generador diésel. Entonces, E_6 podría decidir utilizar GN para producir EL; y por su parte, E_{10} podría utilizar CL para producir EL. Además, cada empresa decidirá independiente si la potencia eléctrica generada la destinará a su propio consumo, a almacenamiento o a la venta. Asimismo, cada empresa del parque podrá plantearse situaciones similares.

Si bien una empresa podrá pedir la apertura de una instancia de negociación por necesidad o interés propio, la decisión última la tendrá el *Subastador*, para evitar reiteraciones demasiado frecuentes que conduzcan a un estado de subasta casi-permanente. De todas maneras, las negociaciones no tienen necesariamente que seguir una periodicidad fija, ni tampoco una determinada secuencia preestablecida de CS de SE y SNE subastados. Es probable que, para algunos SE o SNE, la frecuencia de negociación sea realmente baja, sobre todo si se trata de un SE o SNE donde participan pocas empresas.

En este contexto, se pretende extender el mecanismo de negociación PAPYCS desarrollado en el Capítulo 3 (que está restringido a la negociación de CS de un SE único: EL en el caso del Capítulo 3, pero podría haber sido cualquier otro), al caso de empresas que compiten por el uso de diversos SE y SNE.

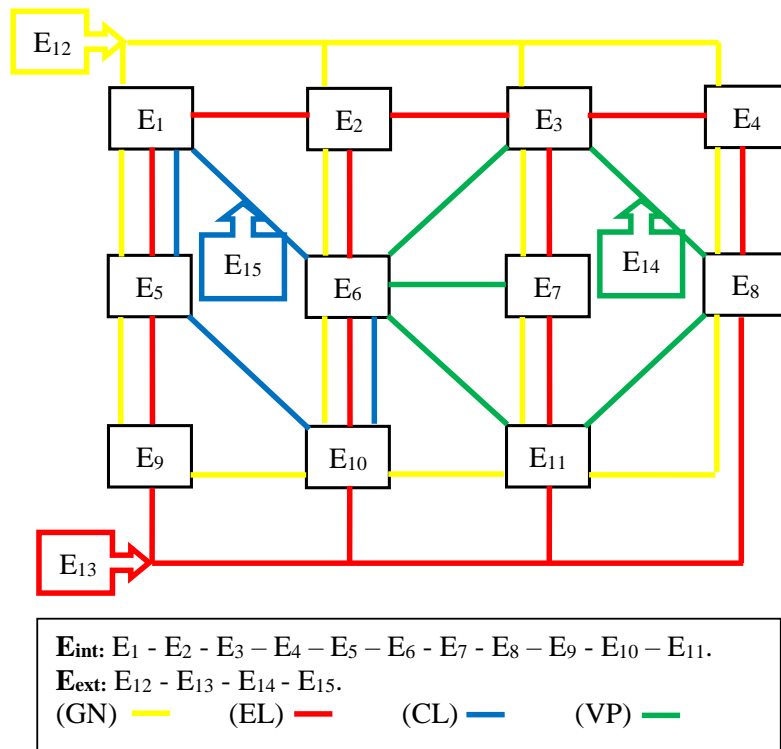


Fig. 4.2. Layout esquemático de un IP con 11 E_{int}, 4 E_{ext} y 4 SE.

TABLA 4.I: CSR(*t*) DE SE Y SNE PARA CADA E_{ext}
 (CORRESPONDE A IP DE LA FIG. 4.2)

| CSR(<i>t</i>) | E ₁₂ | E ₁₃ | E ₁₄ | E ₁₅ |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| EL [kW] | 0 | 5.000 | 0 | 0 |
| GN [Nm ³] | 200 | 0 | 0 | 0 |
| CL [I] | 0 | 0 | 0 | 80 |
| VP [Nm ³] | 0 | 0 | 50 | 0 |

4.3.2 Posicionamiento de una empresa para negociar CS de SE y SNE

Denominaremos “posicionamiento de la empresa E_j”, P₀(*j*, *t*), a su estado contractual representado por los valores de CS acordados para cada SE y SNE, del período *t*. Estrictamente, este posicionamiento depende del período de tiempo considerado, y podrá variar cada vez que culmine una nueva subasta. Por ejemplo, supongamos que en un dado

tiempo $t = 0$, la E_6 tiene actualmente acordadas las siguientes CS por SE, expresadas en valores: $EL = 18$; $GN = 36$; $CL = 0$; $VP = 14$. Aceptando que la secuencia descriptiva para los SE es $[EL; GN; CL; VP]$, entonces el posicionamiento efectivo de E_6 , para $t = 0$ será representado por el siguiente vector: $P_O(6,0) = [18; 36; 0; 14]$. Toda empresa del parque tendrá su propia política, que le permitirá definir su posicionamiento al momento de una nueva negociación.

Denominaremos “capacidad de suministro negociable” de SE y SNE en una empresa, $CSN(j, t)$, a la variación nominal entre el posicionamiento pretendido para el próximo período y su posicionamiento actual. Por ejemplo, si el posicionamiento actual de la E_6 es: $P_O(6,0) = [18; 36; 0; 14]$, y en el siguiente período ($t = 1$) esa empresa pretende expandirse y ofrecer mayor provisión de VP a costa de requerir más GN, entonces en el período siguiente podría aspirar a tener un posicionamiento pretendido como el siguiente: $P_{OP}(6,1) = [18; 39; 0; 10]$. A efectos de la negociación, la $CSN(6,1)$ será la diferencia entre ambos vectores: $CSN(6,1) = [0; 3; 0; -4]$. Es decir, tendrá que intervenir en el proceso de negociación para procurar comprar 3 unidades adicionales de GN y para procurar vender 4 unidades disponibles de VP. Es de notar que, al PAPYCS, no le interesa si la empresa del IP pretende inyectar, almacenar o consumir el SE que se negocie, solamente necesita conocer el cambio en el posicionamiento de la empresa con respecto a sus SE actuales, por cuanto dicha información es la que intervendrá en el proceso de negociación. En definitiva, y al finalizar la ejecución del PAPYCS, la E_6 para $t = 1$, obtendrá los valores de posicionamiento en CS que regirán para dicho período: $P_O(6,1)$.

4.3.3 Propuesta para la implementación del modelo de negociación

La estrategia de asignación de CS tiene como objetivos: i- lograr un beneficio económico en conjunto para todas las empresas involucradas, ya sean internas o externas al IP, ii- minimizar las CS inactivas, iii- maximizar las CS remanentes, iv- otorgar señales técnico-económicas que permitan visualizar las evoluciones actuales de cada SE y SNE (eventualmente, previendo tendencias de demandas), y v- favorecer el intercambio de SE y SNE, identificando —en base a señales técnico-económicas— posibles sinergias entre las empresas del IP. En base a lo expuesto, se presenta a continuación una propuesta que reúne los recursos necesarios para alcanzar los objetivos planteados.

La Fig. 4.3 presenta un diagrama de proceso, donde se indica la secuencia de contratación de CS que sigue una E_{int} y una E_{ext} , bajo el modelo estándar actual. En este

caso, cada E_{int} acuerda y contrata directamente con la E_{ext} , por un período determinado, su CS y precio, permitiendo al usuario poder actualizar sus valores de CS, o que la medición del consumo del servicio registre un valor en exceso. En ambos casos el instrumento a utilizar es inscribir una reforma de contrato (hasta que se cumplan los plazos pactados y se genere un nuevo contrato). En el período contractual siguiente, si una E_{int} entiende que la CS deber ser actualizada (ya sea un incremento o una reducción), de acuerdo a sus proyecciones de negocio y a sus actividades productivas realizadas, directamente lo manifiesta en el contrato de partes.

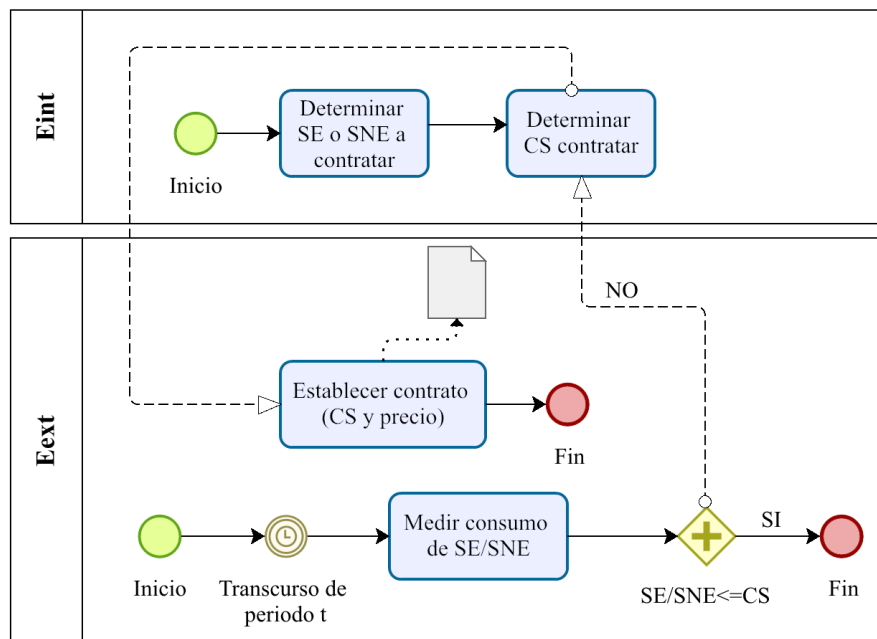


Fig. 4.3. Modelo actual para contratar CS y precio entre E_{int} y E_{ext} radicadas en un IP, para cada período t .

La Fig. 4.4 esquematiza el diagrama de proceso para la nueva propuesta. En este caso, tanto la E_{int} como la E_{ext} definen sus contratos de CS bajo un entorno de subasta, dinamizando el contrato de CS y precio, con ajustes posibles en las fracciones de CS y de los correspondientes precios, en cada período t . Durante el período en curso (t_0), el *Subastador* da inicio y fin al mecanismo de negociación que obtendrá los valores de CS y precio del conjunto de negociaciones de SE y SNE que regirán en el próximo período (t). En el período t_0 , y en forma secuencial y propias a cada período, el *Subastador* ejecuta el PAPYCS para cada uno de los SE y SNE, obteniendo así las fracciones de CS y precio para cada E_{int} y E_{ext} , como sus propios valores de pago (o ajustes de precios). En el período t_0 , el *Subastador* envía a cada una de las empresas (E_{int} y E_{ext}) una señal de inicio. Inmediatamente las E_{int} informan sus valores de: $P(j, t)_{SE/SNE}$ o caudal

$Q(j, t)_{SE/SNE}$, $TD(j, t)_{SE/SNE}$, $TO(j, t)_{SE/SNE}$, y además, para $c=1$: $CS(j, t_0)_{SE/SNE}$, $Pr(j, t_0)_{SE/SNE}$. Por su parte, las E_{ext} informan sus valores de: $TD(j, t)_{SE/SNE}$, $TO(j, t)_{SE/SNE}$, y además, para $c=1$: $CS(j, t_0)_{SE/SNE}$, $Pr(j, t_0)_{SE/SNE}$. El *Subastador* actualiza cada uno de estos datos recibidos, para el conjunto de los SE y SNE, de cada E_{int} y E_{ext} , y junto a sus valores de $Pr(sb, t_0)_{SE/SNE}$ ejecuta el PAPYCS. Las E_{int} y E_{ext} que no hayan informado los valores requeridos, participarán con los valores registrados próximos anteriores. Finalmente el *Subastador*, a cada participante j del período t , le informa los valores de: $Pr(j, t, C(t))_{SE/SNE}$, $Pr(sb, t, C(t))_{SE/SNE}$, y $CS(j, t, C(t))_{SE/SNE}$, identificando además el valor $c = C(t)$. Bajo esta modalidad se espera que las E_{int} minimicen su $CSI(t)$, y las E_{ext} maximicen la $CSR(t)$. En esta nueva modalidad dinámica de contratación, la gestión previa a la ejecución de una dada subasta (a cargo del *Subastador*), tiene un rol central.

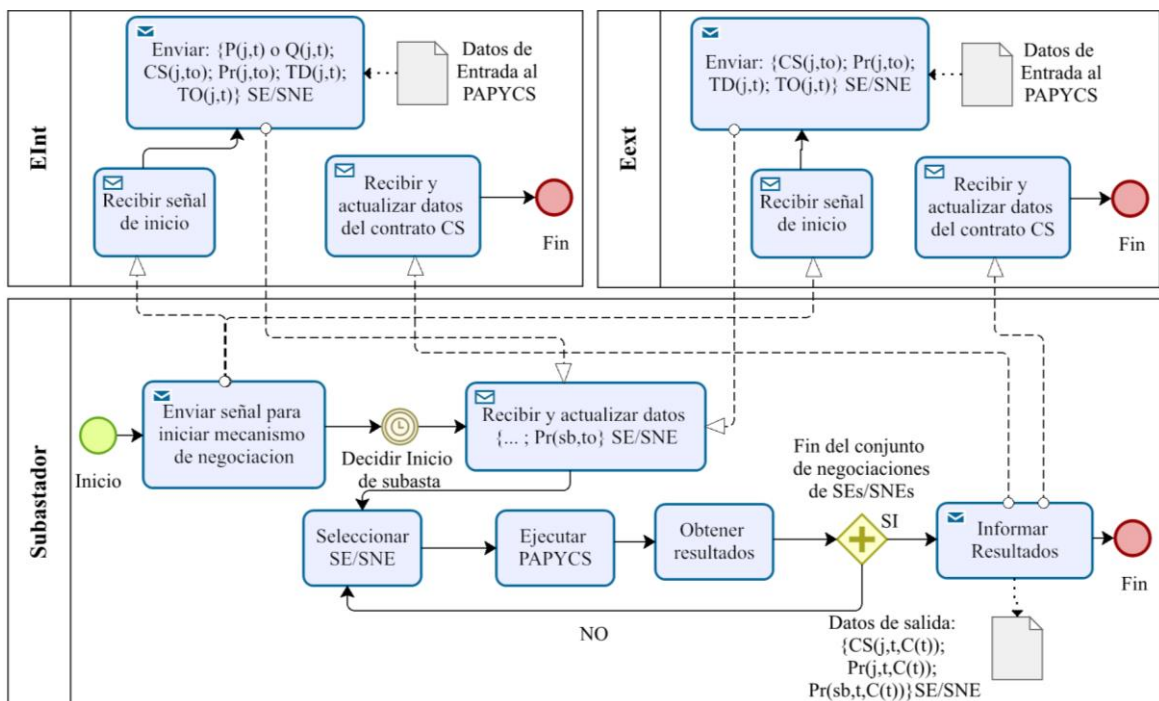


Fig. 4.4. Modelo propuesto para contratar CS y precio entre E_{int} y E_{ext} radicadas en un IP, para cada período t .

4.3.4 Seudocódigo a aplicar por el *Subastador*

A continuación, se desarrolla unseudocódigo descriptivo del procedimiento a aplicar por parte del *Subastador*. Esteseudocódigo describe la ejecución que se sigue para obtener y actualizar los valores de $Pr(j, t, C(t))_{SE/SNE}$, $Pr(sb, t, C(t))_{SE/SNE}$, y

$CS(j, t, C(t))_{SE/SNE}$, identificando además el valor $c = C(t)$. Para un determinado SE o SNE.

Seudocódigo a aplicar por el Subastador

Subastador: Actualizar su $Pr(sb, t_0)_{SE/SNE}$. Según corresponda a cada uno de los SE y SNE que forman parte del conjunto de negociaciones.

Enviar señal para iniciar mecanismo de negociación: Informar a las E_{int} y E_{ext} del parque el conjunto de negociaciones (entre SE y SNE) a aplicar POPYCS, en el período t .

Recibir y actualizar datos requeridos E_{int} de cada uno de los SE y SNE interesados: Iniciar recepción de datos de entrada, informados por cada una de las E_{int} : $P(j, t)_{SE/SNE}$ o el caudal $Q(j, t)_{SE/SNE}$, $TD(j, t)_{SE/SNE}$, $TO(j, t)_{SE/SNE}$. Y además, para $c=1$: $CS(j, t_0)_{SE/SNE}$, $Pr(j, t_0)_{SE/SNE}$. Según corresponda a cada uno de los SE y SNE que forman parte del conjunto de negociaciones.

Recibir y actualizar datos requeridos E_{ext} de cada uno de los SE y SNE interesados: Iniciar recepción de datos de entrada, informados por cada una de las E_{ext} : $TD(j, t)_{SE/SNE}$, $TO(j, t)_{SE/SNE}$. Y además, para $c=1$: $CS(j, t_0)_{SE/SNE}$, $Pr(j, t_0)_{SE/SNE}$. Según corresponda a cada uno de los SE y SNE que forman parte del conjunto de negociaciones.

Inicio/Fin del POPYCS: Identificar los valores hallados en $C(t)$.

Informar: a cada participante j , del período t , los valores de: $Pr(j, t, C(t))_{SE/SNE}$, $Pr(sb, t, C(t))_{SE/SNE}$, y $CS(j, t, C(t))_{SE/SNE}$, identificando además el valor $c = C(t)$.

La incorporación de múltiples empresas y servicios no requiere modificaciones del procedimiento POPYCS original. Según el tipo de servicio que se esté por negociar, sólo se requiere ingresar los datos de entrada en concordancia con el SE o SNE correspondiente.

4.4 Indicadores asociados al proceso de gestión de los servicios en un IP

En esta sección se definen indicadores que permiten valorar cuantitativamente el grado de evolución del sistema de gestión de servicios implementado en un IP. Es posible definir indicadores tanto para cada empresa particular, como también para el IP visto en su conjunto. En todos los casos, estos indicadores permiten efectuar comparaciones entre los posicionamientos de cada empresa (o del IP) antes y después de realizarse una o varias negociaciones.

4.4.1 Indicador por empresa, por servicio, y por período t

Los indicadores (4.1) y (4.2) evalúan qué ocurre antes y después de una negociación de un servicio en una empresa j :

$$CSI_{SE}(j, t) = CS(j, t, C(t))_{SE} - P(j, t)_{SE} \quad (4.1)$$

$$CSI_{SE/SNE}(j, t) = CS(j, t, C(t))_{SE/SNE} - Q(j, t)_{SE/SNE} \quad (4.2)$$

Los indicadores cuantifican cómo se aprovechó la negociación del servicio. Un valor elevado de $CSI_{SE/SNE}(j, t)$, corresponde a una mala negociación (ya que retuvo un excedente que podría seguir vendiendo), y entonces los valores declarados en las tablas $TD(j, t)_{SE/SNE}$, $TO(j, t)_{SE/SNE}$ deben ser reajustados. Además, $CSI_{SE/SNE}(j, t)$ permite analizar si, ante tal desaprovechamiento del AP, la empresa debe desplazar o no, carga o consumo. Se debe recordar que, en la actualidad los valores de CS son fijos y de un valor económico bajo, residiendo en este hecho su desinterés. Pero, si se le asigna un alto valor económico, su problema reside en no ser variable, ya que no permite acomodar la carga o el consumo. El valor de este indicador es obtenido por el *Subastador* e informado a cada E_{int} .

4.4.2 Indicadores globales del IP

Los siguientes indicadores globales evalúan cómo queda posicionado el IP antes y después de un conjunto generoso de negociaciones, de diversos servicios, en varias empresas.

Teniendo en cuenta que:

$$PT_{SE}(t) = \left\{ \sum_{j=1}^N P(j, t) \right\}_{SE} \quad (4.3)$$

$$QT(t)_{SE/SNE} = \left\{ \sum_{j=1}^N Q(j, t) \right\}_{SE/SNE} \quad (4.4)$$

$$CST(t)_{SE/SNE} = \left\{ \sum_{j=1}^N CS(j, t, C(t)) \right\}_{SE/SNE} \quad (4.5)$$

El valor de $CSI(t)_{SE/SNE}$ se calcula según:

$$CSI(t)_{SE} = CST(t)_{SE} - PT(t)_{SE} \quad (4.6)$$

$$CSI(t)_{SE/SNE} = CST(t)_{SE/SNE} - QT(t)_{SE/SNE} \quad (4.7)$$

El valor de $CSR(t)_{SE/SNE}$ se calcula según:

$$CSR(t)_{SE/SNE} = CS(t)_{SE/SNE} - CST(t)_{SE/SNE} \quad (4.8)$$

Las Ecs. (4.6), (4.7) y (4.8) son los indicadores a visualizar por el *Subastador*, la cual será informada a cada E_{int} . La meta es aprovechar y optimizar el AP. Como resultado, $CST(t)$ se debe aproximar o seguir a $PT(t)$ o $QT(t)$, en mayor o menor medida. Un comportamiento de la curva $CST(t)$, que no acompañe y no aproxime a las variaciones de $PT(t)$ o $QT(t)$, desaprovecharía la CS disponible. Es aconsejable mantener bajo $CSI(t)_{SE/SNE}$ y elevado $CSR(t)_{SE/SNE}$, período a período.

4.5 Conclusiones

Este capítulo presenta un marco conceptual inicial que permite visualizar la arquitectura de un IP y establecer pautas para implementar un esquema de negociación de CS que involucre a las empresas internas y externas al parque, y también a los varios servicios, recursos y suministros existentes.

El modelo propuesto es implícitamente un juego dinámico, donde intervienen múltiples participantes y servicios. El POPYCS desarrollado en el Capítulo 3 es genérico y limitado a la negociación de un único servicio. A través de la metodología de implementación propuesta, puede ser utilizado de manera simple en esta configuración ampliada de un IP. Es de destacar que el presente enfoque permitiría evaluar el desempeño de un IP bajo un contexto tanto económico como regulatorio. Otro aspecto importante a mencionar, es que tiene en cuenta las diferentes configuraciones de los SE y RN, y a partir de los resultados obtenidos es posible despertar el interés para fortalecer los IP desde un punto de vista técnico-económico.

La propuesta abre la posibilidad de utilizar nuevos enfoques, como los correspondientes a juegos no cooperativos (teoría de subasta), para inducir a la colaboración entre empresas, dado que cada una de ellas tiene intereses y patrones de comportamiento individuales.

5 Aplicación de la estrategia de negociación de energía en un IP

5.1 Introducción

En general, los IP actuales —al menos los existentes en nuestro país—, no tienen desarrolladas herramientas específicas que les permitan establecer mecanismos elaborados de negociación de servicios entre las empresas radicadas en el parque. Actualmente, la lógica de contratación de cualquier servicio (ya sea un SE o un SNE) es mayoritariamente directa, y se establece por acuerdo entre la empresa demandante y la proveedora del servicio requerido. Este esquema de negociación estático no provee margen para definir nuevas estrategias de negocios que, eventualmente, pudieran mejorar los intercambios de servicios con posibles beneficios económicos para todos los agentes intervinientes. En este marco, la propuesta metodológica establecida en los Capítulos 3 y 4 podría resultar de interés y motivadora para el desarrollo de nuevas alternativas de negociación más evolucionadas.

En este Capítulo, se presenta un caso de estudio de un IP relativamente sencillo, sobre el cual se aplica la metodología de negociación desarrollada y expuesta en el Capítulo 4. El IP estudiado es ficticio; dado que, desafortunadamente, no ha sido factible conseguir datos confiables provenientes de empresas radicadas en IP reales. El lugar de desarrollo de esta tesis ha sido la ciudad de Rafaela (Santa Fe, Argentina), una localidad con una fuerte incidencia de actividad industrial. En particular, en Rafaela hay dos IP: el Parque Industrial Rafaela (PIR), y el Parque de Actividades Económicas de Rafaela (PAER). Algunos de los datos a utilizar en los ejemplos (como niveles de demandas eléctricas, tipos de servicios involucrados, posibilidades o intereses de expansión de las empresas para participar como oferentes de otros servicios complementarios, etc.), tienen relación con consumos asociables a esos parques o intereses manifestados por empresas allí radicadas. Por otra parte, determinadas alternativas energéticas supuestas para el IP estudiado en este Capítulo, y los correspondientes datos asociados, se han recuperado de trabajos de investigación previos [104], [105], [106].

5.2 Caso de estudio

El *layout* del IP a estudiar se presenta en la Fig. 5.1. Este IP está conformado por 9 empresas internas (E_1 a E_9) y 3 empresas externas (E_{10} a E_{12}). Las empresas externas proveen y distribuyen dos SE y un SNE, según el siguiente detalle: E_{10} provee EL; E_{11}

provee GN; y E₁₂ provee APt. Todas las E_{int} del IP tienen acceso al servicio de EL. El GN es provisto sólo a las empresas internas que van desde E₁ hasta E₆ (inclusive); mientras que con APt se atiende a las empresas E₁ a E₆ más E₉.

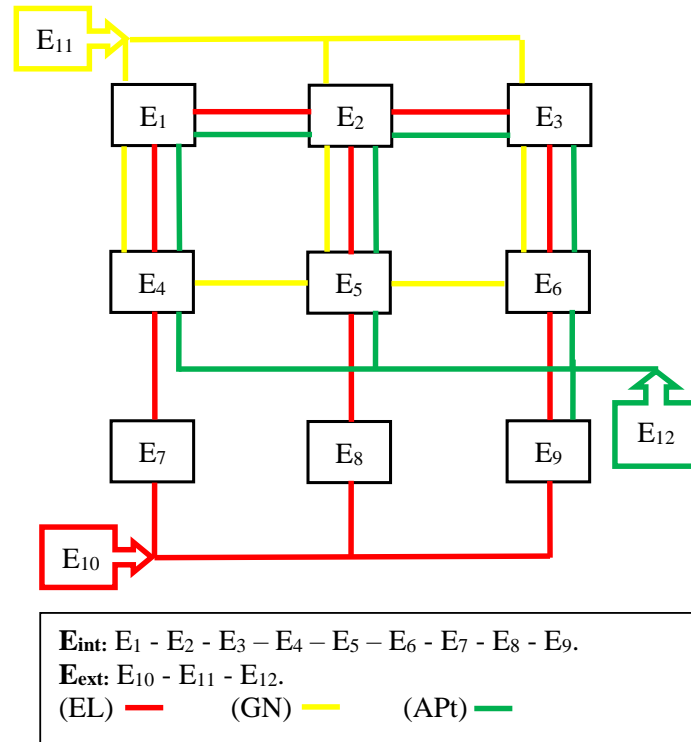


Fig. 5.1. Caso de estudio: *Layout* del IP.

5.2.1 Ofertas máximas y demandas estimadas en el IP

Para las empresas proveedoras de servicio, se adoptan las siguientes CS máximas: 5.000 [kW] para EL (E₁₀); 200 [Nm³/h] para GN (E₁₁), y 22.000 [l/h] para APt (E₁₂). Estas CS no representan necesariamente los consumos totales de esos servicios por parte de las empresas del IP. Por el contrario, la demanda total de las empresas internas del IP será inferior a esas cotas máximas, quedando cada empresa distribuidora con capacidad de suministro remanente como para atender eventuales consumos adicionales o incrementos de las demandas en tiempos futuros (por ejemplo, por radicación de nuevas empresas en el IP o por incremento de los consumos por parte de las ya existentes).

Con respecto a la demanda de CS de los diferentes servicios, se adoptan perfiles hipotéticos simplificados. La Fig. 5.2 muestra la demanda de energía eléctrica (en MWh), en la provincia de Santa Fe, expresada como promedio diario demandado, de acuerdo a registros correspondientes al mes de octubre de 2015. Las diferentes curvas corresponden a la discriminación por día hábil, semi-hábil o feriado. En general, se visualizan dos picos

de carga: uno ubicado entre las 10 hs y las 15 hs, y el otro entre las 21 hs y las 23 hs. El primer pico tiene una coincidencia horaria con el período de mayor consumo energético diurno típico de los IP, en consecuencia, se adopta este comportamiento en potencia eléctrica para aplicar a cada una de las empresas del IP. En cambio, el segundo pico no es asociable a estándares de consumos industriales actuales. Sin embargo, con las estrategias de negociación de energías y servicios se podría promover un desplazamiento de las demandas, en busca de aplanar el perfil final, pudiendo alcanzarse patrones similares a los de la figura.

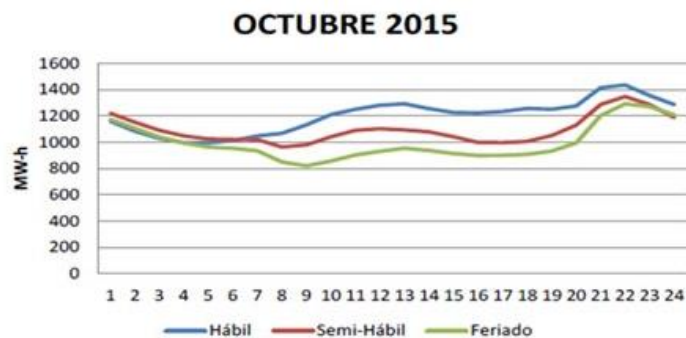


Fig. 5.2: Curvas típicas de demanda diaria de energía eléctrica, en días hábiles, semi-hábiles y feriados (provincia de Santa Fe, octubre de 2015) [104].

En consecuencia, el patrón de demanda diaria de la Fig. 5.2 —convenientemente escalado de acuerdo a una demanda acorde al IP en estudio— será utilizado para emular la demanda energética diaria de las empresas radicadas en el parque. A falta de información específica, los mismos patrones se utilizarán para parametrizar las demandas de GN y APT. Más allá de la indudable arbitrariedad en la adopción de las demandas, los valores absolutos resultantes sólo serán utilizados para la resolución de los ejemplos, sin que ello tenga un impacto significativo sobre la metodología de cálculo propuesta ni tampoco sobre el análisis de los resultados que se obtengan.

5.2.2 Modelado de los actores participantes en el IP

En esta sección se incluyen aspectos relativos a la participación en el IP de empresas internas y proveedoras de servicio, como también a las posibilidades de incorporar tecnologías de generación y almacenamiento de energías. En este contexto, el modelado de cada actor es simple, y particularmente se restringe a la parametrización de sus respectivos niveles de participación de acuerdo a las CS o potencias con que cada uno de ellos, o sus respectivas tecnologías, puedan resultar involucradas en las futuras negociaciones de CS.

A. Demanda de EL, GN y APT ($j = 1, \dots, 6$)

La estación transformadora de energía eléctrica ‘Rafaela Oeste’ (Rafaela, provincia de Santa Fe) es una estación reductora de tensión de 132 kV con salidas en 33 kV y 13,2 kV, una potencia nominal de 60 MVA y un factor de utilización medio cercano al 55% (~33 MVA). La línea de 13,2 kV alimenta a los parques PIR y PAER. De acuerdo a información disponible, se estima que estos parques demandan un 78% de la potencia útil (~25 MVA), mientras que el resto es derivado a consumidores externos a los parques. Entre PIR y PAER se encuentran localizadas en total alrededor de 100 empresas [107]. Estas magnitudes permiten estimar una demanda media de potencia cercana a los 250 kVA por empresa. Esta demanda, junto con los patrones típicos de la Fig. 5.2, permiten configurar un comportamiento aproximado de la demanda de energía eléctrica en los parques. Como se lo adelantara más arriba, para GN y APt se adoptan patrones similares. Respecto del GN, se utiliza el factor de conversión correspondiente a un Poder Calorífico Superior (PCS) de aproximadamente 11,70 kWh por normal metro cúbico de GN, y una similitud en magnitud con la demanda de EL, en correspondencia a lo informado en [4]. El valor del PCS no es siempre igual, pudiendo presentar ligeras variaciones [108].

B. Generación de EL mediante paneles solares fotovoltaicos ($j = 8$)

En [104] se analizó la posibilidad de cubrir los picos de demanda de EL diurnos en un IP (aquellos que podrían dar lugar a penalizaciones por parte de la distribuidora, por exceso de demanda de potencia). Para ello, se propuso utilizar EL generada dentro del mismo predio de radicación de los parques, y aportarla al sistema de distribución. Se compararon dos tecnologías: (i) generación diésel (GD), y (ii) generación fotovoltaica (GFV). La GD es de uso relativamente difundido en varias empresas radicadas en los IP (como motogeneradores destinados a cubrir fallos en el sistema de distribución o picos de demanda). La GFV es un método de generación de EL, cuya instalación podría ser promovida en los IP, motivado particularmente por los altos niveles de radiación solar a lo largo del año que se reciben sobre la provincia de Santa Fe, más los costos internacionales decrecientes para la instalación de esta tecnología limpia, segura, silenciosa y robusta. A tales efectos, se desarrolló y analizó un estudio técnico-económico que permitió valorar la viabilidad de generar EL en el IP, considerando para ello: los costos de inversión,

operación y mantenimiento, los tiempos de amortización, y algunos indicadores de gestión del proyecto (valor actual neto, tasa interna de retorno y período de repago) [104]. Este análisis podría permitir tanto a las empresas actualmente radicadas en los parques, como así también a potenciales inversores externos, decidir la forma en que van a cubrir parte de la demanda eléctrica, como paliativo ante un complejo contexto político, económico y socio-ambiental. Los resultados indicaron una ventaja significativa de la GFV frente a la GD. En este contexto, y a efectos de escalar la generación de EL en el IP, se asume la instalación de generadores solares con una capacidad suficiente para cubrir el 1% de la demanda total de potencia del IP, es decir 250 kVA en el presente caso de estudio. Si bien este porcentaje de participación es bajo, se lo toma como un criterio de inversión factible para el inicio de la penetración de esta tecnología, hoy ausente en la mayoría de los predios industriales.

C. Almacenamiento de energía por aire comprimido ($j = 7$)

En [105] se propuso un sistema que almacena energía en forma de aire comprimido a baja presión, para su aplicación en el sector industrial. La finalidad es desplazar energía de bajo costo marginal y convertirla en energía de alto valor económico durante las horas de mayor demanda. La adopción de baja presión facilita el uso de relaciones isentrópicas para describir el comportamiento del sistema y prácticamente elimina la necesidad de remoción de calor (necesarias en sistemas de alta presión, para compensar el aumento de la temperatura). El sistema propuesto se analizó para su aplicación en un IP, con el objetivo de utilizar la capacidad ociosa de los compresores de aire disponibles en la mayoría de las empresas radicadas en predios industriales. De esta manera se busca aportar la energía almacenada al sistema de distribución en horarios de mayor valor de la energía. El sistema de almacenamiento y desplazamiento de energía eléctrica (SADE) propuesto hace uso de tecnologías conocidas, con bajos costo de operación y mantenimiento, y que a su vez reduce significativamente el impacto medioambiental. El SADE presenta los mismos beneficios que un sistema de almacenamiento de aire comprimido estándar (*Compressed Air Energy Storage: CAES*), con la particularidad que la construcción de los depósitos de aire puede ser modular, de tal manera que, controlando la descarga, se pueda obtener la idoneidad del sistema para aplicaciones que requieran energía o potencia. Este tipo de

proyectos es viable cuando se lo destina a mitigar picos diarios de consumo, asociados típicamente a la jornada laboral diurna de la mayoría de las empresas industriales. Este estudio puede ser utilizado como una herramienta de decisión para que cada empresa pueda, en función de su decisión, comercializar la energía almacenada. A los efectos de las simulaciones, en este caso de estudio se ha adoptado una capacidad de almacenamiento suficiente para cubrir el 1% de la demanda total de potencia del IP, es decir 250 kVA en el presente caso de estudio, respetando los supuestos mencionados para generación de EL mediante paneles solares fotovoltaicos ($j = 8$).

D. Almacenamiento de energía en estación de repostaje de hidrógeno ($j = 9$)

En [106] se analizó una estación de repostaje de gas hidrógeno (HRS). Una HRS, es una infraestructura diseñada para llenar un vehículo con combustible hidrógeno. La HRS puede ser parte de una estación de reabastecimiento de otro combustible (fósil, por ejemplo), o una infraestructura independiente. En [106] se consideró una estación de suministro de hidrógeno o su mezcla con GN, brindándose además argumentos técnicos-económicos que podrían impulsar la utilización del hidrógeno o el combustible híbrido de GN con gas hidrógeno, y la ventaja de la mezcla. El proceso de electrólisis permite generar hidrógeno y oxígeno a partir de agua. La generación de hidrógeno por electrólisis se escoge por ser un proceso de tamaño reducido en comparación con otras tecnologías existentes, no genera emisiones ni ruidos contaminantes, y es sostenible a largo plazo por no depender de combustibles fósiles. El proceso de electrólisis se encuentra ampliamente desarrollado, existiendo una variedad de electrolizadores en el mercado. Entre ellos, tres son los más prometedores: electrolizadores alcalinos (AWE: *alkaline water electrolysis*), electrolizadores de membrana de intercambio protónico (PEM: *proton exchange membrane*), y electrolizadores de Óxido Sólido (SOEC: *Solid Oxide Electrolyser Cell*). Generalmente, los electrolizadores PEM son más adecuados para plantas pequeñas, especialmente aquellas que se caracterizan por una elevada variabilidad (como los sistemas de energías renovables); mientras que los electrolizadores alcalinos son preferibles en plantas grandes que están conectadas a la red de energía [109]. Para la presente propuesta se sugiere el tipo PEM, con una presión de salida hasta 35 bares y una eficiencia global del 65 - 70% [110]. En este capítulo, las simulaciones utilizarán los siguientes parámetros correspondientes a un

electrolizador PEM Silyzer 200 [110]: una potencia de 1.250 kW, un consumo de agua de 1,5 l/Nm³H₂, y una producción de H₂ de 21 kg/h (o 225 Nm³/h).

5.3 Escenarios de negociación de servicios con la estrategia propuesta

A efectos de evaluar la metodología de negociación propuesta en el Capítulo 4, se la aplica para un dado estado de posicionamiento de las empresas radicadas en el IP representado en la Fig. 5.1. Se adoptan 16 períodos de evaluación ($t = 1, \dots, 16$) — correspondientes a un día de labor— para la negociación de cualquiera de los tres servicios involucrados: EL, GN y APt. Los datos para la negociación por período, se muestran respectivamente en las Figs. 5.3, 5.4 y 5.5. A efectos de evitar incertidumbres en los valores de los gráficos, los datos numéricos se incluyen en las Tablas 5.I, 5.II, y 5.III, para EL, GN y APt, respectivamente. Los valores numéricos se obtuvieron escalando los perfiles ya diseñados para [83] y [111].

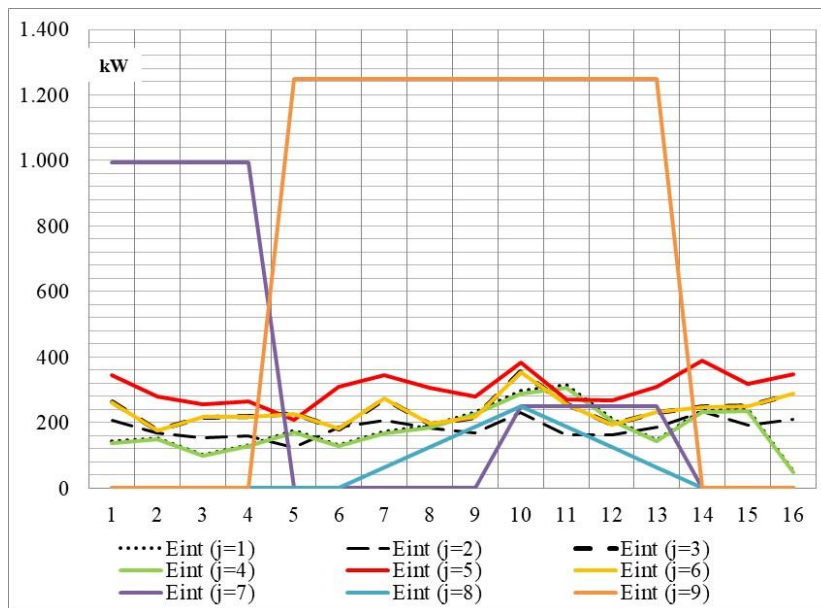


Fig. 5.3. Evoluciones de potencias eléctricas a lo largo de 16 períodos.

TABLA 5.I: $P(j,t)$ [kW], POR PARTICIPANTE j EN EL PERÍODO t

| t | Hora | $P(1,t)$ | $P(2,t)$ | $P(3,t)$ | $P(4,t)$ | $P(5,t)$ | $P(6,t)$ | $P(7,t)$ | $P(8,t)$ | $P(9,t)$ |
|----|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 04:00 | 141,49 | 207,18 | 262,50 | 137,20 | 345,30 | 262,50 | 994,30 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 05:00 | 152,14 | 167,81 | 175,40 | 147,53 | 279,81 | 175,40 | 994,30 | 0,00 | 0,00 |
| 3 | 06:00 | 100,69 | 153,81 | 216,53 | 97,63 | 256,35 | 216,53 | 994,30 | 0,00 | 0,00 |
| 4 | 07:00 | 130,40 | 158,19 | 217,74 | 126,45 | 263,64 | 217,74 | 994,30 | 0,00 | 0,00 |
| 5 | 08:00 | 173,65 | 124,54 | 226,21 | 168,39 | 207,56 | 226,21 | 0,00 | 0,00 | 1.250,00 |
| 6 | 09:00 | 130,18 | 185,10 | 180,24 | 126,24 | 308,50 | 180,24 | 0,00 | 0,00 | 1.250,00 |
| 7 | 10:00 | 171,88 | 207,04 | 272,18 | 166,67 | 345,06 | 272,18 | 0,00 | 62,50 | 1.250,00 |
| 8 | 11:00 | 191,10 | 183,05 | 194,49 | 185,31 | 305,08 | 194,49 | 0,00 | 125,00 | 1.250,00 |
| 9 | 12:00 | 231,31 | 167,14 | 215,32 | 224,30 | 278,56 | 215,32 | 0,00 | 187,50 | 1.250,00 |
| 10 | 13:00 | 297,46 | 229,65 | 353,75 | 288,44 | 382,74 | 353,75 | 250,00 | 250,00 | 1.250,00 |
| 11 | 14:00 | 314,88 | 161,79 | 256,25 | 305,33 | 269,65 | 256,25 | 250,00 | 187,50 | 1.250,00 |
| 12 | 15:00 | 211,52 | 160,44 | 193,75 | 205,11 | 267,40 | 193,75 | 250,00 | 125,00 | 1.250,00 |
| 13 | 16:00 | 146,67 | 184,88 | 230,95 | 142,22 | 308,13 | 230,95 | 250,00 | 62,50 | 1.250,00 |
| 14 | 17:00 | 237,94 | 233,16 | 246,61 | 230,73 | 388,59 | 246,61 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 15 | 18:00 | 240,00 | 191,31 | 250,00 | 234,44 | 318,85 | 250,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 16 | 19:00 | 49,11 | 208,33 | 286,90 | 47,62 | 347,22 | 286,90 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

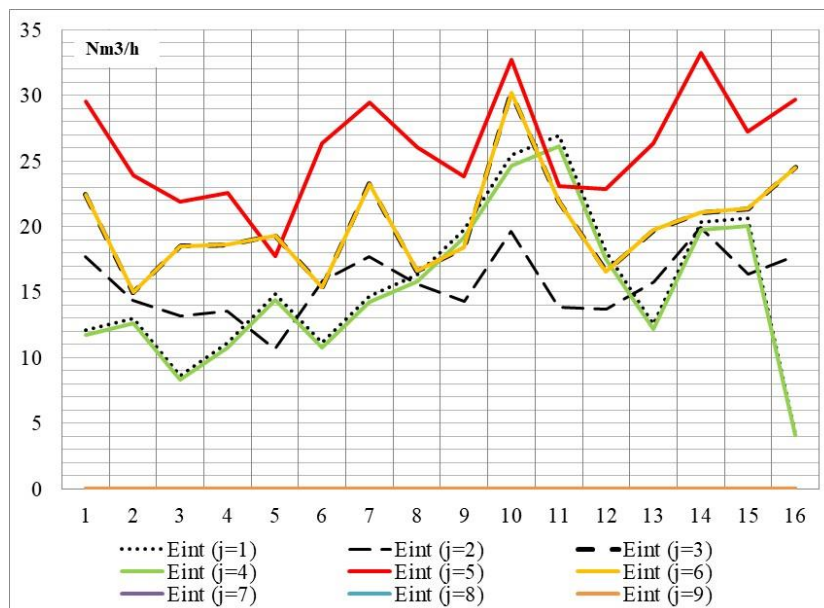


Fig. 5.4. Evoluciones de caudales de GN a lo largo de 16 períodos.

TABLA 5.II: $Q_{GN}(j,t)$ [Nm³/h], POR PARTICIPANTE j EN EL PERÍODO t

| t | Hora | $Q_{GN}(1,t)$ | $Q_{GN}(2,t)$ | $Q_{GN}(3,t)$ | $Q_{GN}(4,t)$ | $Q_{GN}(5,t)$ | $Q_{GN}(6,t)$ | $Q_{GN}(7,t)$ | $Q_{GN}(8,t)$ | $Q_{GN}(9,t)$ |
|----|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | 04:00 | 12,09 | 17,71 | 22,44 | 11,73 | 29,51 | 22,44 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 05:00 | 13,00 | 14,35 | 14,99 | 12,61 | 23,91 | 14,99 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 3 | 06:00 | 8,61 | 13,15 | 18,51 | 8,34 | 21,91 | 18,51 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 4 | 07:00 | 11,15 | 13,52 | 18,61 | 10,81 | 22,53 | 18,61 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 5 | 08:00 | 14,84 | 10,64 | 19,33 | 14,39 | 17,74 | 19,33 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 6 | 09:00 | 11,13 | 15,82 | 15,41 | 10,79 | 26,37 | 15,41 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7 | 10:00 | 14,69 | 17,70 | 23,26 | 14,25 | 29,49 | 23,26 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 8 | 11:00 | 16,33 | 15,65 | 16,62 | 15,84 | 26,08 | 16,62 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 9 | 12:00 | 19,77 | 14,29 | 18,40 | 19,17 | 23,81 | 18,40 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 10 | 13:00 | 25,42 | 19,63 | 30,24 | 24,65 | 32,71 | 30,24 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 11 | 14:00 | 26,91 | 13,83 | 21,90 | 26,10 | 23,05 | 21,90 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 12 | 15:00 | 18,08 | 13,71 | 16,56 | 17,53 | 22,85 | 16,56 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 13 | 16:00 | 12,54 | 15,80 | 19,74 | 12,16 | 26,34 | 19,74 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 14 | 17:00 | 20,34 | 19,93 | 21,08 | 19,72 | 33,21 | 21,08 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 15 | 18:00 | 20,66 | 16,35 | 21,37 | 20,04 | 27,25 | 21,37 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 16 | 19:00 | 4,20 | 17,81 | 24,52 | 4,07 | 29,68 | 24,52 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

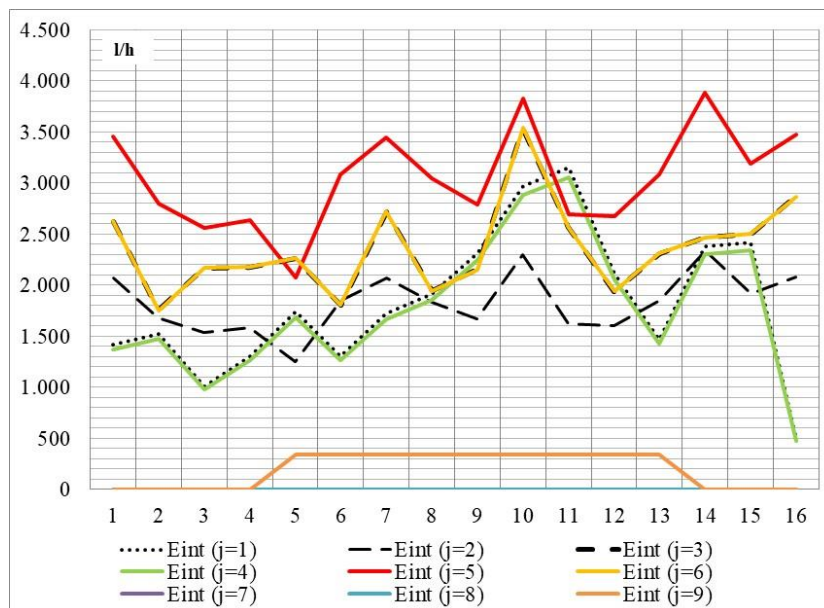


Fig. 5.5. Evoluciones de caudales de APT a lo largo de 16 períodos.

TABLA 5.III: $Q_{APi}(j,t)$ [l/h], POR PARTICIPANTE j EN EL PERÍODO t

| t | Hora | $Q_{APi}(1,t)$ | $Q_{APi}(2,t)$ | $Q_{APi}(3,t)$ | $Q_{APi}(4,t)$ | $Q_{APi}(5,t)$ | $Q_{APi}(6,t)$ | $Q_{APi}(7,t)$ | $Q_{APi}(8,t)$ | $Q_{APi}(9,t)$ |
|----|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 04:00 | 1.414,92 | 2.071,77 | 2.625,00 | 1.372,04 | 3.452,96 | 2.625,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 05:00 | 1.521,37 | 1.678,83 | 1.754,03 | 1.475,27 | 2.798,05 | 1.754,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 3 | 06:00 | 1.006,85 | 1.538,10 | 2.165,32 | 976,34 | 2.563,51 | 2.165,32 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 4 | 07:00 | 1.304,03 | 1.581,85 | 2.177,42 | 1.264,52 | 2.636,42 | 2.177,42 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 5 | 08:00 | 1.736,49 | 1.245,36 | 2.262,10 | 1.683,87 | 2.075,60 | 2.262,10 | 0,00 | 0,00 | 337,50 |
| 6 | 09:00 | 1.301,81 | 1.851,01 | 1.802,42 | 1.262,37 | 3.085,01 | 1.802,42 | 0,00 | 0,00 | 337,50 |
| 7 | 10:00 | 1.718,75 | 2.070,36 | 2.721,77 | 1.666,67 | 3.450,60 | 2.721,77 | 0,00 | 0,00 | 337,50 |
| 8 | 11:00 | 1.911,02 | 1.830,51 | 1.944,92 | 1.853,11 | 3.050,85 | 1.944,92 | 0,00 | 0,00 | 337,50 |
| 9 | 12:00 | 2.313,10 | 1.671,37 | 2.153,23 | 2.243,01 | 2.785,62 | 2.153,23 | 0,00 | 0,00 | 337,50 |
| 10 | 13:00 | 2.974,58 | 2.296,46 | 3.537,50 | 2.884,44 | 3.827,43 | 3.537,50 | 0,00 | 0,00 | 337,50 |
| 11 | 14:00 | 3.148,75 | 1.617,92 | 2.562,50 | 3.053,33 | 2.696,53 | 2.562,50 | 0,00 | 0,00 | 337,50 |
| 12 | 15:00 | 2.115,21 | 1.604,38 | 1.937,50 | 2.051,11 | 2.673,96 | 1.937,50 | 0,00 | 0,00 | 337,50 |
| 13 | 16:00 | 1.466,67 | 1.848,81 | 2.309,52 | 1.422,22 | 3.081,35 | 2.309,52 | 0,00 | 0,00 | 337,50 |
| 14 | 17:00 | 2.379,45 | 2.331,57 | 2.466,10 | 2.307,34 | 3.885,95 | 2.466,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 15 | 18:00 | 2.417,71 | 1.913,13 | 2.500,00 | 2.344,44 | 3.188,54 | 2.500,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 16 | 19:00 | 491,07 | 2.083,33 | 2.869,05 | 476,19 | 3.472,22 | 2.869,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

A. Negociación de la energía eléctrica

En primer lugar, se considera la situación de las empresas del IP ante un esquema tradicional de contrataciones de CS (es decir, a través de contratos estáticos establecidos entre cada empresa y la correspondiente distribuidora del servicio). La Fig. 5.6 muestra las evoluciones de las CS y las potencias eléctricas, para cada una de las 9 industrias participantes, y a lo largo de los 16 períodos considerados. Debe observarse que la empresa externa $j = 10$ no interviene porque, en un esquema de negociación por contratos fijos, su potencia transaccional es nula en todos los intervalos de tiempo; es decir $P(10, t) = 0$ para todo t .

El Anexo II contiene información detallada de los resultados de las negociaciones simuladas en este Capítulo. En dicho Anexo II, los resultados se presentan en forma tabulada, a los efectos de que puedan eventualmente ser verificados mediante la

implementación de la metodología descrita en el Capítulo 4. Particularmente, en la Tabla II.1 se detallan los resultados mostrados en la Fig. 5.6.

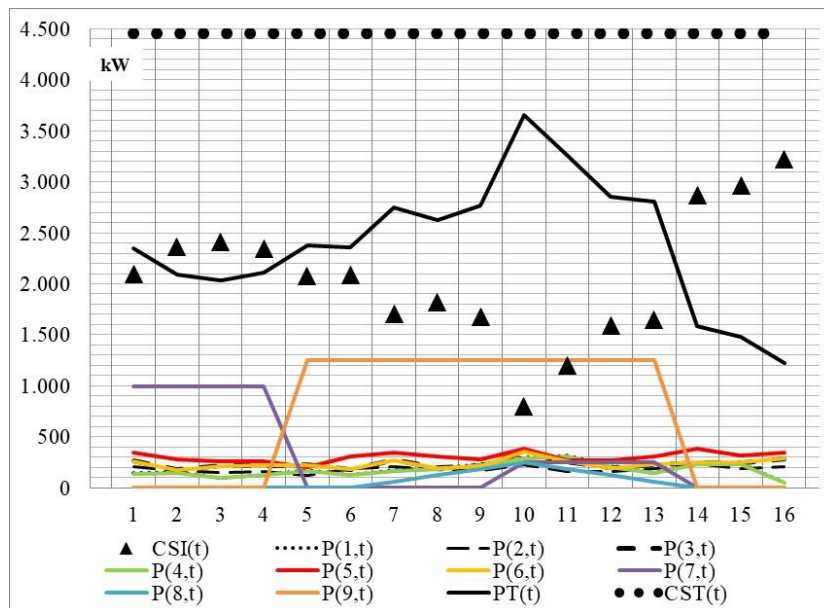


Fig. 5.6. Evoluciones de CS y potencias a lo largo de 16 períodos considerados. Caso de CS contratada constante.

A continuación, se analiza la aplicación del método propuesto para la negociación de EL, con reasignación de fracciones de CS. Las Tablas 5.IV y 5.V muestran, respectivamente, las matrices de demandas, $TD(j^c, t)$, y de ofertas, $TO(j^v, t)$, de acuerdo a los criterios elegidos por cada participante j , incluida la empresa distribidora ($j = 10$). En la Fig. 5.7 se observa el comportamiento de la $CST(t)$ y la $CSI(t)$, y en la Fig. 5.8 se representa a $Pr(j, t, C(t))$. Los resultados corresponden a la aplicación del PAPYCS, partiendo de $CS(j, t_0) = 0$, y $Pr(j, t_0) = 0$ para todo participante j ($= 1, 2, 3, \dots, 9$), y $Pr(sb, t_0) = 0$. En las Tablas II.II y II.III del Anexo II se detallan los valores de $CS(j, t, C(t))$ y $Pr(j, t, C(t))$ de las Figs. 5.7 y 5.8, respectivamente. En Fig. 5.8 se consideran, además, los valores de $Pr(sb, t, C(t))$ que adquiere el *Subastador* (ver la Tabla II.III del Anexo II).

En la Fig. 5.6 se observa que la curva $CST(t)$ es insensible a las variaciones de $PT(t)$. En cambio, en la Fig. 5.7, la curva $CST(t)$ acompaña a las variaciones de $PT(t)$. Esto último se debe a que el procedimiento propuesto, apoyado en los datos de entrada, dinamiza el comportamiento de $CST(t)$. Además, el procedimiento permite lograr que $CST(t)$ se aproxime y siga a $PT(t)$, en mayor o menor medida, con el solo hecho de alterar los valores asignados en las tablas que forman parte de los datos de entrada. Un

comportamiento de la curva $CST(t)$, que no acompañe y no aproxime a las variaciones de $PT(t)$, desaprovecharía la CS disponible.

TABLA 5.IV: $TD(j^c, t)$ Y $TO(j^v, t)$, POR PARTICIPANTE j EN EL PERÍODO t

| Xb [kw] - Xs [kw] - b [\$a] - s [\$a] | | | | | | | | | | | |
|---|--------|----------------------------|------|----------------------------|--------|----------------------------|------|----------------------------|--------|----------------------------|------|
| TD (1 ^c , t) | | TO (1 ^v , t) | | TD (2 ^c , t) | | TO (2 ^v , t) | | TD (3 ^c , t) | | TO (3 ^v , t) | |
| b | Xb | Xs | s | b | Xb | Xs | s | b | Xb | Xs | s |
| 8.00 | 10.00 | 10.00 | 1.80 | 8.50 | 10.00 | 10.00 | 2.50 | 7.70 | 10.00 | 10.00 | 3.10 |
| 6.60 | 40.00 | 20.00 | 2.40 | 7.00 | 40.00 | 20.00 | 3.00 | 6.30 | 40.00 | 20.00 | 3.70 |
| 5.60 | 70.00 | 30.00 | 2.90 | 6.00 | 70.00 | 30.00 | 3.60 | 5.30 | 70.00 | 30.00 | 4.00 |
| 4.60 | 100.00 | 40.00 | 3.40 | 5.00 | 100.00 | 40.00 | 4.10 | 4.30 | 100.00 | 40.00 | 4.50 |
| TD (4 ^c , t) | | TO (4 ^v , t) | | TD (5 ^c , t) | | TO (5 ^v , t) | | TD (6 ^c , t) | | TO (6 ^v , t) | |
| b | Xb | Xs | s | b | Xb | Xs | s | b | Xb | Xs | s |
| 5.70 | 10.00 | 10.00 | 3.75 | 5.65 | 10.00 | 10.00 | 3.65 | 5.80 | 10.00 | 10.00 | 3.80 |
| 4.70 | 40.00 | 20.00 | 7.20 | 4.65 | 40.00 | 20.00 | 7.10 | 4.80 | 40.00 | 20.00 | 7.30 |
| 3.70 | 70.00 | 30.00 | 8.65 | 3.60 | 70.00 | 30.00 | 8.55 | 3.00 | 70.00 | 30.00 | 8.75 |
| 2.20 | 100.00 | 40.00 | 9.70 | 2.10 | 100.00 | 40.00 | 9.60 | 2.30 | 100.00 | 40.00 | 9.80 |
| TD (7 ^c , t) | | TO (7 ^v , t) | | TD (8 ^c , t) | | TO (8 ^v , t) | | TD (9 ^c , t) | | TO (9 ^v , t) | |
| b | Xb | Xs | s | b | Xb | Xs | s | b | Xb | Xs | s |
| 8.25 | 10.00 | 10.00 | 2.80 | 8.30 | 10.00 | 10.00 | 3.15 | 5.75 | 10.00 | 10.00 | 3.55 |
| 6.65 | 40.00 | 20.00 | 3.85 | 6.80 | 40.00 | 20.00 | 3.35 | 4.75 | 40.00 | 20.00 | 7.15 |
| 5.55 | 70.00 | 30.00 | 4.15 | 5.85 | 70.00 | 30.00 | 3.90 | 3.55 | 70.00 | 30.00 | 8.50 |
| 4.55 | 100.00 | 40.00 | 4.45 | 4.85 | 100.00 | 40.00 | 4.30 | 2.25 | 100.00 | 40.00 | 9.75 |

TABLA 5.V: $TD(10^c, t)$ Y $TO(10^v, t)$, PARA LA EDS EN EL PERÍODO t

| Xb [kw] - Xs [kw] - b [\$a] - s [\$a] | | |
|---|------|------|
| Xs (o Xb) | s | b |
| 30,00 | 2,60 | 6,50 |
| 50,00 | 3,50 | 5,50 |
| 70,00 | 5,00 | 5,00 |
| 90,00 | 7,00 | 4,50 |
| 110,00 | 7,70 | 4,00 |
| 130,00 | 8,45 | 3,50 |
| 150,00 | 9,00 | 3,00 |
| 170,00 | 9,35 | 2,50 |
| 190,00 | 9,50 | 2,00 |

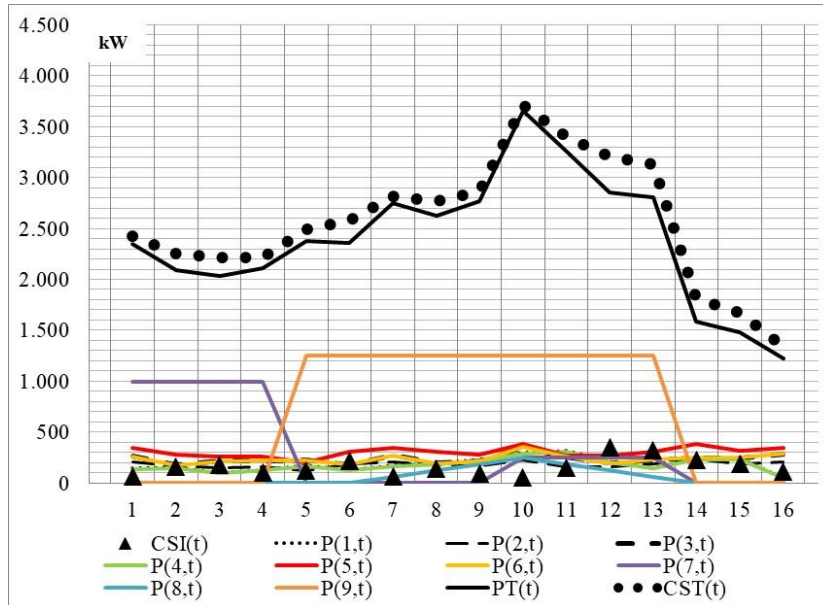


Fig. 5.7. Evoluciones de CS y potencias a lo largo de 16 períodos considerados. Caso de fracciones de CS contratadas variables entre períodos t .

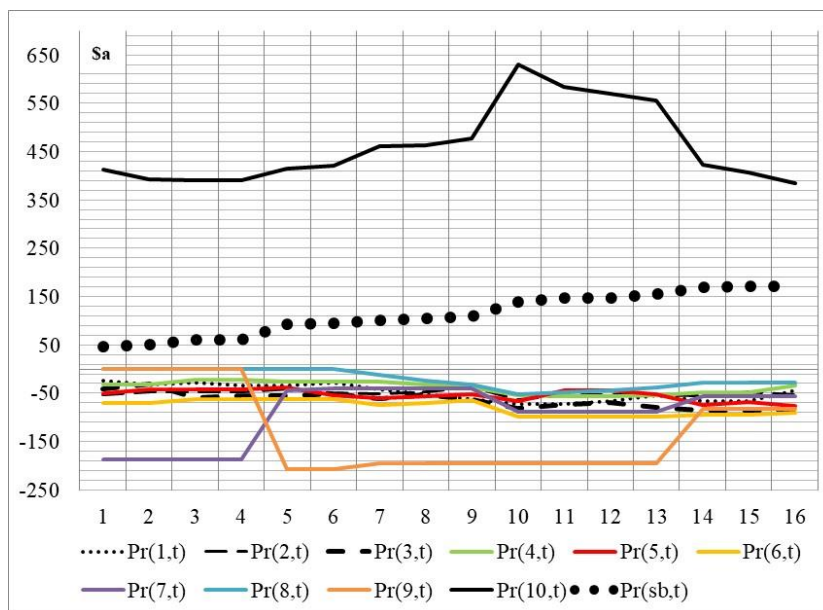


Fig. 5.8. Evoluciones de precios de CS a lo largo de 16 períodos considerados. Caso de fracciones de CS contratadas variables entre períodos t .

B. Negociación del gas natural

En la Fig. 5.9 se observan las evoluciones de la CS y las potencias a lo largo de los 16 períodos considerados, para cuando se adopta una CS contratada constante, para cada una de las 9 industrias participantes. La Tabla II.IV del Anexo II detalla los valores de la Fig. 5.9. En este caso, la E_{ext} ($j = 11$) no interviene en la negociación dado que su potencia transaccional es nula en todos los intervalos de tiempo; es decir $Q_{GN}(11, t) = 0$.

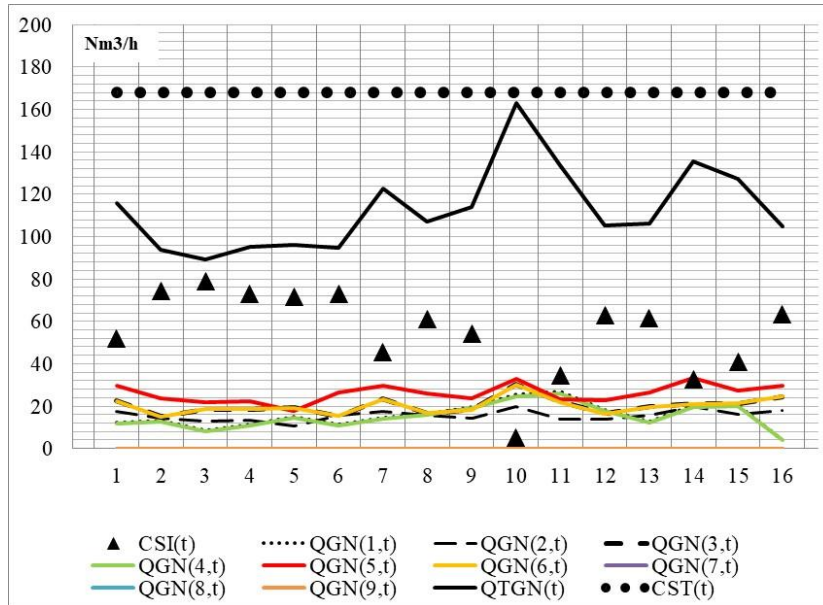


Fig. 5.9. Evoluciones de CS y caudales a lo largo de 16 períodos considerados. Caso de CS contratada constante.

Al igual que en el caso de EL, se pasa a analizar la aplicación del método propuesto para el caso en que negocian reasignaciones de fracciones de CS. Las Tablas 5.VI y 5.VII muestran, respectivamente, las matrices $TD(j^c, t)$ y $TO(j^v, t)$, de acuerdo a los criterios elegidos por cada participante j y por la empresa $j = 11$. En la Fig. 5.10 se observa el comportamiento de $CST(t)$ y $CSI(t)$, y en la Fig. 5.11 se representa $Pr(j, t, C(t))$, como resultado de aplicar el PAPYCS, partiendo de $CS(j, t_0) = 0$, y $Pr(j, t_0) = 0$, para todos los participantes j ($= 1, 2, 3, \dots, 9$), y $Pr(sb, t_0) = 0$. Las Tablas II.V y II.VI del Anexo II detallan los valores de $CS(j, t, C(t))$ y $Pr(j, t, C(t))$ correspondientes a las Figs. 5.10 y 5.11, respectivamente. En la Fig. 5.11 se consideran también los valores de $Pr(sb, t, C(t))$ que adquiere el *Subastador* (ver Tabla II.VI del Anexo II).

En la Fig. 5.9, la curva $CST(t)$ es insensible a las variaciones de $QT_{GN}(t)$. En cambio, en la Fig. 5.10, dicha curva acompaña a las variaciones de $QT_{GN}(t)$, como consecuencia de haber aplicado el procedimiento de negociación propuesto, alcanzándose un comportamiento dinámico en $CST(t)$. Además, el procedimiento logra que $CST(t)$ se aproxime y siga a $QT_{GN}(t)$, con el solo hecho de alterar los valores asignados en las tablas que forman parte de los datos de entrada. Un comportamiento de la curva $CST(t)$, que no acompañe y no aproxime a las variaciones de $QT_{GN}(t)$ desaprovecharía la CS disponible.

TABLA 5.VI: TD(j^c, t) Y TO(j^v, t), POR PARTICIPANTE j EN EL PERÍODO t

$$Xb \text{ [Nm3/h]} - Xs \text{ [Nm3/h]} - b \text{ [\$a]} - s \text{ [\$a]}$$

| TD ($1^c, t$) | | | | TO ($1^v, t$) | | | | TD ($2^c, t$) | | | | TO ($2^v, t$) | | | | TD ($3^c, t$) | | | | TO ($3^v, t$) | | | |
|--------------------|-------|------|------|--------------------|-------|------|------|--------------------|-------|------|------|--------------------|-------|------|------|--------------------|-------|------|------|--------------------|-------|------|------|
| b | Xb | Xs | s | b | Xb | Xs | s | b | Xb | Xs | s | b | Xb | Xs | s | b | Xb | Xs | s | b | Xb | Xs | s |
| 8.00 | 1.00 | 1.00 | 1.80 | 8.50 | 1.00 | 1.00 | 2.50 | 7.70 | 1.00 | 1.00 | 3.10 | 8.00 | 1.00 | 1.00 | 1.80 | 8.50 | 1.00 | 1.00 | 2.50 | 7.70 | 1.00 | 1.00 | 3.10 |
| 6.60 | 4.00 | 2.00 | 2.40 | 7.00 | 4.00 | 2.00 | 3.00 | 6.30 | 4.00 | 2.00 | 3.70 | 6.60 | 4.00 | 2.00 | 2.40 | 7.00 | 4.00 | 2.00 | 3.00 | 6.30 | 4.00 | 2.00 | 3.70 |
| 5.60 | 7.00 | 3.00 | 2.90 | 6.00 | 7.00 | 3.00 | 3.60 | 5.30 | 7.00 | 3.00 | 4.00 | 5.60 | 7.00 | 3.00 | 2.90 | 6.00 | 7.00 | 3.00 | 3.60 | 5.30 | 7.00 | 3.00 | 4.00 |
| 4.60 | 10.00 | 4.00 | 3.40 | 5.00 | 10.00 | 4.00 | 4.10 | 4.30 | 10.00 | 4.00 | 4.50 | 4.60 | 10.00 | 4.00 | 3.40 | 5.00 | 10.00 | 4.00 | 4.10 | 4.30 | 10.00 | 4.00 | 4.50 |

| TD ($4^c, t$) | | | | TO ($4^v, t$) | | | | TD ($5^c, t$) | | | | TO ($5^v, t$) | | | | TD ($6^c, t$) | | | | TO ($6^v, t$) | | | |
|--------------------|-------|------|------|--------------------|-------|------|------|--------------------|-------|------|------|--------------------|-------|------|------|--------------------|-------|------|------|--------------------|-------|------|------|
| b | Xb | Xs | s | b | Xb | Xs | s | b | Xb | Xs | s | b | Xb | Xs | s | b | Xb | Xs | s | b | Xb | Xs | s |
| 5.70 | 1.00 | 1.00 | 3.75 | 5.65 | 1.00 | 1.00 | 3.65 | 5.80 | 1.00 | 1.00 | 3.80 | 5.70 | 1.00 | 1.00 | 3.75 | 5.65 | 1.00 | 1.00 | 3.65 | 5.80 | 1.00 | 1.00 | 3.80 |
| 4.70 | 4.00 | 2.00 | 7.20 | 4.65 | 4.00 | 2.00 | 7.10 | 4.80 | 4.00 | 2.00 | 7.30 | 4.70 | 4.00 | 2.00 | 7.20 | 4.65 | 4.00 | 2.00 | 7.10 | 4.80 | 4.00 | 2.00 | 7.30 |
| 3.70 | 7.00 | 3.00 | 8.65 | 3.60 | 7.00 | 3.00 | 8.55 | 3.00 | 7.00 | 3.00 | 8.75 | 3.70 | 7.00 | 3.00 | 8.65 | 3.60 | 7.00 | 3.00 | 8.55 | 3.00 | 7.00 | 3.00 | 8.75 |
| 2.20 | 10.00 | 4.00 | 9.70 | 2.10 | 10.00 | 4.00 | 9.60 | 2.30 | 10.00 | 4.00 | 9.80 | 2.20 | 10.00 | 4.00 | 9.70 | 2.10 | 10.00 | 4.00 | 9.60 | 2.30 | 10.00 | 4.00 | 9.80 |

| TD ($7^c, t$) | | | | TO ($7^v, t$) | | | | TD ($8^c, t$) | | | | TO ($8^v, t$) | | | | TD ($9^c, t$) | | | | TO ($9^v, t$) | | | |
|--------------------|-------|------|------|--------------------|-------|------|------|--------------------|-------|------|------|--------------------|-------|------|------|--------------------|-------|------|------|--------------------|-------|------|------|
| b | Xb | Xs | s | b | Xb | Xs | s | b | Xb | Xs | s | b | Xb | Xs | s | b | Xb | Xs | s | b | Xb | Xs | s |
| 8.25 | 1.00 | 1.00 | 2.80 | 8.30 | 1.00 | 1.00 | 3.15 | 5.75 | 1.00 | 1.00 | 3.55 | 8.25 | 1.00 | 1.00 | 2.80 | 8.30 | 1.00 | 1.00 | 3.15 | 5.75 | 1.00 | 1.00 | 3.55 |
| 6.65 | 4.00 | 2.00 | 3.85 | 6.80 | 4.00 | 2.00 | 3.35 | 4.75 | 4.00 | 2.00 | 7.15 | 6.65 | 4.00 | 2.00 | 3.85 | 6.80 | 4.00 | 2.00 | 3.35 | 4.75 | 4.00 | 2.00 | 7.15 |
| 5.55 | 7.00 | 3.00 | 4.15 | 5.85 | 7.00 | 3.00 | 3.90 | 3.55 | 7.00 | 3.00 | 8.50 | 5.55 | 7.00 | 3.00 | 4.15 | 5.85 | 7.00 | 3.00 | 3.90 | 3.55 | 7.00 | 3.00 | 8.50 |
| 4.55 | 10.00 | 4.00 | 4.45 | 4.85 | 10.00 | 4.00 | 4.30 | 2.25 | 10.00 | 4.00 | 9.75 | 4.55 | 10.00 | 4.00 | 4.45 | 4.85 | 10.00 | 4.00 | 4.30 | 2.25 | 10.00 | 4.00 | 9.75 |

TABLA 5.VII: TD($10^c, t$) Y TO($10^v, t$), PARA LA EDS EN EL PERÍODO t

$$Xb \text{ [Nm3/h]} - Xs \text{ [Nm3/h]} - b \text{ [\$a]} - s \text{ [\$a]}$$

| Xs (o Xb) | s | b |
|----------------|------|------|
| 3,00 | 2,60 | 6,50 |
| 5,00 | 3,50 | 5,50 |
| 7,00 | 5,00 | 5,00 |
| 9,00 | 7,00 | 4,50 |
| 11,00 | 7,70 | 4,00 |
| 13,00 | 8,45 | 3,50 |
| 15,00 | 9,00 | 3,00 |
| 17,00 | 9,35 | 2,50 |
| 19,00 | 9,50 | 2,00 |

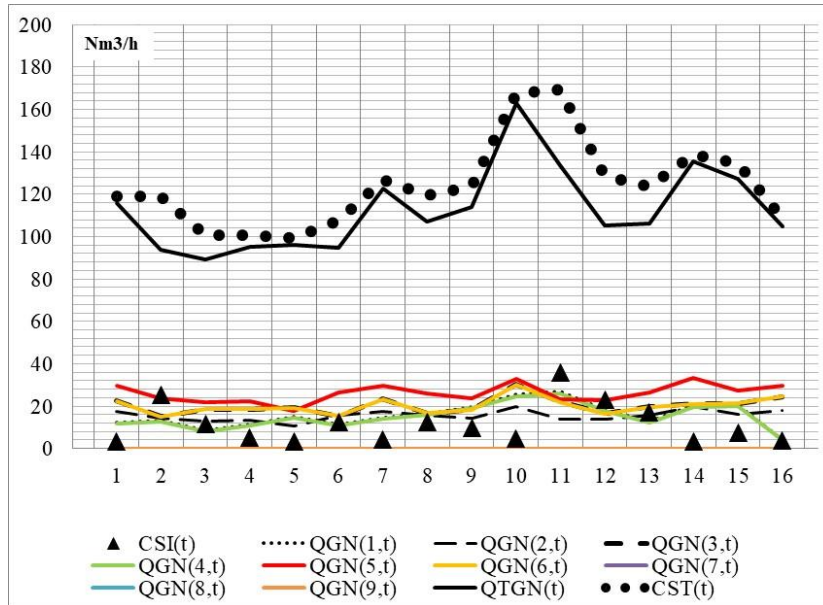


Fig. 5.10. Evoluciones de CS y caudales a lo largo de 16 períodos considerados. Caso de fracciones de CS contratadas variables entre períodos t .

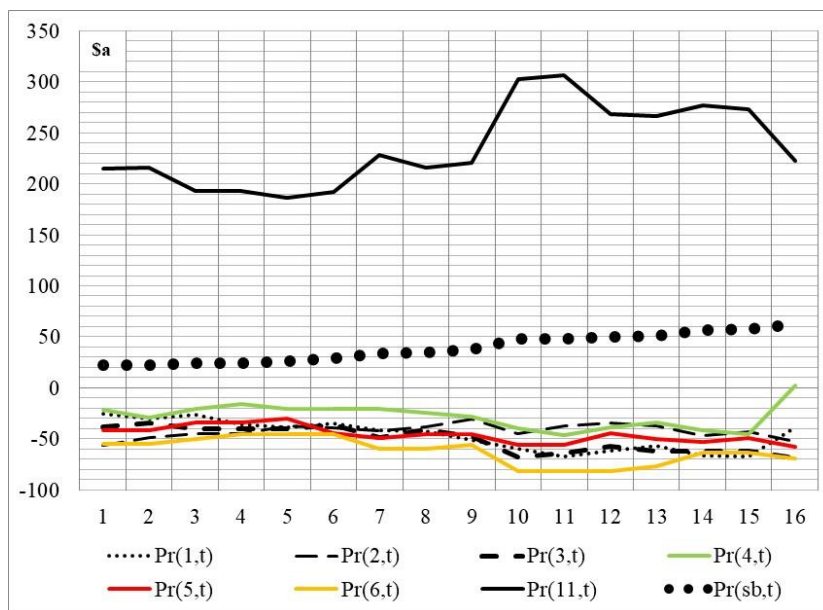


Fig. 5.11. Evoluciones de precios de CS a lo largo de 16 períodos considerados. Caso de fracciones de CS contratadas variables entre períodos t .

C. Negociación de agua potable

En la Fig. 5.12 se presentan las evoluciones de la CS y las potencias a lo largo de los 16 períodos considerados, cuando la CS contratada es constante, y para las 9 industrias participantes. La Tabla II.VII del Anexo II detallan los valores numéricos correspondientes. En este caso, la empresa distribidora ($j = 12$) no interviene en la

negociación porque su potencia transaccional es nula en todos los intervalos de tiempo; es decir, $Q_{APt}(12, t) = 0$.

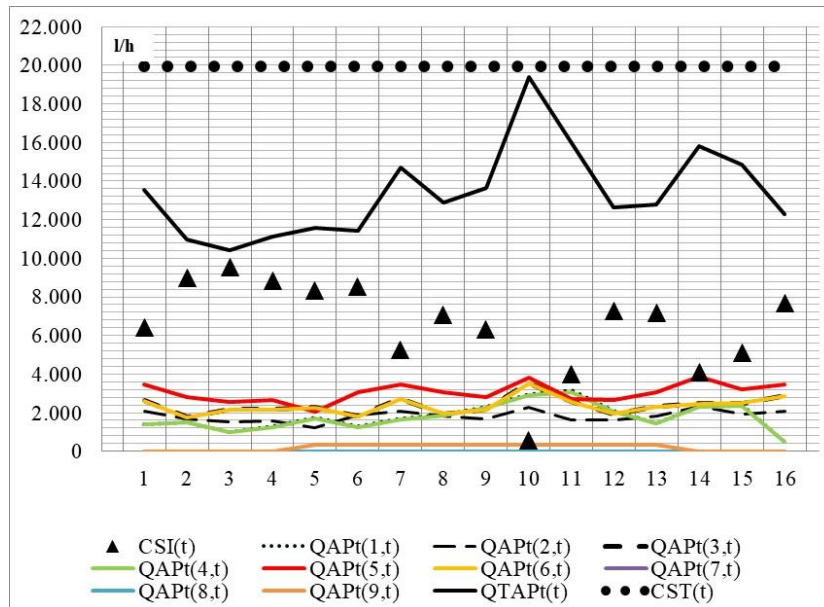


Fig. 5.12. Evoluciones de CS y caudales a lo largo de 16 períodos considerados. Caso CS contratada constante.

A continuación, se analiza la aplicación del método propuesto en el Capítulo 4, para el caso en que se negocian las reasignaciones de fracciones de CS. Las Tablas 5.VIII y 5.IX muestran, respectivamente, las matrices $TD(j^c, t)$ y $TO(j^v, t)$, de acuerdo a los criterios elegidos por cada participante j y por la E_{ext} . En la Fig. 5.13 se observa el comportamiento de la $CST(t)$ y la $CSI(t)$, y en la Fig. 5.14 se representa a $Pr(j, t, C(t))$, como resultado de aplicar el POPYCS, partiendo de $CS(j, t_0) = 0$, y $Pr(j, t_0) = 0$ para todo participante j ($= 1, 2, 3, \dots, 9$), y $Pr(sb, t_0) = 0$. Las Tablas II.VIII y II.IX del Anexo II detallan los valores de $CS(j, t, C(t))$ y $Pr(j, t, C(t))$ de las Figs. 5.13 y 5.14, respectivamente. La Fig. 5.14 también considera los valores de $Pr(sb, t, C(t))$ que adquiere el *Subastador* (ver Tabla II.IX del Anexo II).

En la Fig. 5.12 se observa que la curva $CST(t)$ es insensible a las variaciones de $QT_{APt}(t)$. En cambio, en la Fig. 5.13, la curva $CST(t)$ acompaña a las variaciones de $QT_{APt}(t)$, debido a que el procedimiento de negociación dinamiza el comportamiento de $CST(t)$. Además, dicho procedimiento permite lograr que $CST(t)$ se aproxime y siga a $QT_{APt}(t)$, con el solo hecho de alterar los valores asignados en las tablas que forman parte de los datos de entrada. Un comportamiento de la curva $CST(t)$, que no acompañe y no aproxime a las variaciones de $QT_{APt}(t)$ desaprovecharía la CS disponible.

TABLA 5.VIII: TD(j^c, t) Y TO(j^v, t), POR PARTICIPANTE j EN EL PERÍODO t

| Xb [l/h] - Xs [l/h] - b [\$a] - s [\$a] | | | | | | | | | | | |
|---|-----------|----------------------------|----------|----------------------------|-----------|----------------------------|----------|----------------------------|-----------|----------------------------|----------|
| TD (1 ^c , t) | | TO (1 ^v , t) | | TD (2 ^c , t) | | TO (2 ^v , t) | | TD (3 ^c , t) | | TO (3 ^v , t) | |
| <i>b</i> | <i>Xb</i> | <i>Xs</i> | <i>s</i> | <i>b</i> | <i>Xb</i> | <i>Xs</i> | <i>s</i> | <i>B</i> | <i>Xb</i> | <i>Xs</i> | <i>s</i> |
| 8.00 | 17.00 | 17.00 | 1.80 | 8.50 | 17.00 | 17.00 | 2.50 | 7.70 | 17.00 | 17.00 | 3.10 |
| 6.60 | 68.00 | 34.00 | 2.40 | 7.00 | 68.00 | 34.00 | 3.00 | 6.30 | 68.00 | 34.00 | 3.70 |
| 5.60 | 119.00 | 51.00 | 2.90 | 6.00 | 119.00 | 51.00 | 3.60 | 5.30 | 119.00 | 51.00 | 4.00 |
| 4.60 | 170.00 | 68.00 | 3.40 | 5.00 | 170.00 | 68.00 | 4.10 | 4.30 | 170.00 | 68.00 | 4.50 |
| TD (4 ^c , t) | | TO (4 ^v , t) | | TD (5 ^c , t) | | TO (5 ^v , t) | | TD (6 ^c , t) | | TO (6 ^v , t) | |
| <i>b</i> | <i>Xb</i> | <i>Xs</i> | <i>s</i> | <i>b</i> | <i>Xb</i> | <i>Xs</i> | <i>s</i> | <i>b</i> | <i>Xb</i> | <i>Xs</i> | <i>s</i> |
| 5.70 | 17.00 | 17.00 | 3.75 | 5.65 | 17.00 | 17.00 | 3.65 | 5.80 | 17.00 | 17.00 | 3.80 |
| 4.70 | 68.00 | 34.00 | 7.20 | 4.65 | 68.00 | 34.00 | 7.10 | 4.80 | 68.00 | 34.00 | 7.30 |
| 3.70 | 119.00 | 51.00 | 8.65 | 3.60 | 119.00 | 51.00 | 8.55 | 3.00 | 119.00 | 51.00 | 8.75 |
| 2.20 | 170.00 | 68.00 | 9.70 | 2.10 | 170.00 | 68.00 | 9.60 | 2.30 | 170.00 | 68.00 | 9.80 |
| TD (7 ^c , t) | | TO (7 ^v , t) | | TD (8 ^c , t) | | TO (8 ^v , t) | | TD (9 ^c , t) | | TO (9 ^v , t) | |
| <i>b</i> | <i>Xb</i> | <i>Xs</i> | <i>s</i> | <i>b</i> | <i>Xb</i> | <i>Xs</i> | <i>s</i> | <i>b</i> | <i>Xb</i> | <i>Xs</i> | <i>s</i> |
| 8.25 | 17.00 | 17.00 | 2.80 | 8.30 | 17.00 | 17.00 | 3.15 | 5.75 | 17.00 | 17.00 | 3.55 |
| 6.65 | 68.00 | 34.00 | 3.85 | 6.80 | 68.00 | 34.00 | 3.35 | 4.75 | 68.00 | 34.00 | 7.15 |
| 5.55 | 119.00 | 51.00 | 4.15 | 5.85 | 119.00 | 51.00 | 3.90 | 3.55 | 119.00 | 51.00 | 8.50 |
| 4.55 | 170.00 | 68.00 | 4.45 | 4.85 | 170.00 | 68.00 | 4.30 | 2.25 | 170.00 | 68.00 | 9.75 |

TABLA 5.IX: TD(10^c, t) Y TO(10^v, t), PARA LA EDS EN EL PERÍODO t

| Xb [l/h] - Xs [l/h] - b [\$a] - s [\$a] | | |
|---|----------|----------|
| <i>Xs</i> (o <i>Xb</i>) | <i>s</i> | <i>b</i> |
| 51,00 | 2,60 | 6,50 |
| 85,00 | 3,50 | 5,50 |
| 119,00 | 5,00 | 5,00 |
| 153,00 | 7,00 | 4,50 |
| 187,00 | 7,70 | 4,00 |
| 221,00 | 8,45 | 3,50 |
| 255,00 | 9,00 | 3,00 |
| 289,00 | 9,35 | 2,50 |
| 323,00 | 9,50 | 2,00 |

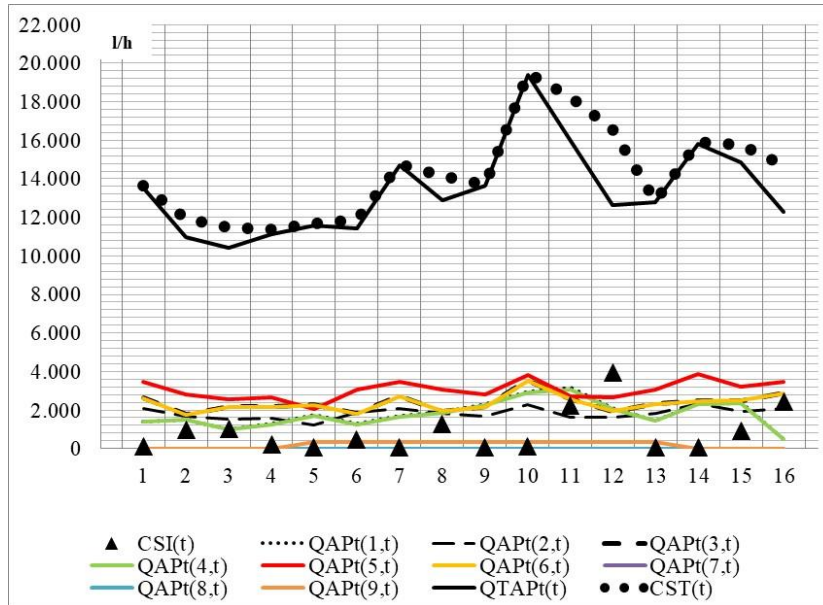


Fig. 5.13. Evoluciones de CS y caudales a lo largo de 16 períodos considerados. Caso de fracciones de CS contratadas variables entre períodos t .

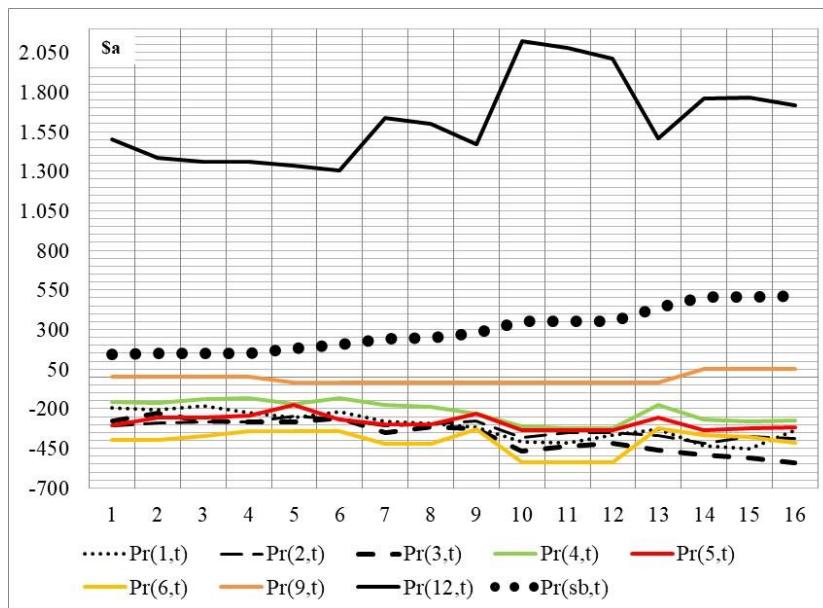


Fig. 5.14. Evoluciones de precios de CS a lo largo de 16 períodos considerados. Caso de fracciones de CS contratadas variables entre períodos t .

5.4 Cálculo de indicadores

Adoptando $Po = [EL, GN, APt]$ como secuencia descriptiva de los servicios, se construye la Tabla II.X del Anexo II, donde los datos obtenidos por el *Subastador* son inicialmente registrados y posteriormente informados a los agentes que corresponda. A partir de dicha tabla se extrajeron los datos de $CSI(j, t)$ y se construyeron las Figs. 5.15, 5.16 y 5.17, en las cuales se representan a los SE y SNE, para cada E_{int} , y para los 16

períodos considerados. Es de interés observar dónde podría mejorarse la $CSR(t)$ de los AP. Por ejemplo, entre los períodos $t = 10$ y $t = 16$, sólo son de interés un grupo de participantes que se repiten por SE y SNE. Para el caso de EL, interesaría que $j = 4$ y $j = 6$ ocupen la CSI, a fin de reducirla (por ejemplo; desplazando carga o ejecutando / reforzando procesos productivos o improductivos). Por otro lado, y anticipándose a la secuencia de crecimiento de la CSI, podrían modificar los valores declarados en su $TO(j, t)$, a fin de mejorar sus ventas. Análisis similares pueden interpretarse para el caso de GN y APt. Las correspondientes reducciones de CSI se lograrían a través de $j = 4$, $j = 5$ y $j = 6$, tanto en el caso de GN como de APt. Asimismo, podrían también anticiparse a la secuencia de crecimiento de las correspondientes CSI, y modificar entonces los valores declarados en sus respectivas $TO(j, t)$. En función de lo expuesto, se identifican situaciones comunes para abordar, como por ejemplo la situación de los participantes $j = 4$ y $j = 6$, entre cada uno de los SE y SNE que asisten al IP.

En los casos analizados, puede observarse que la $CSI(j, t)$ siempre resultó con valores positivos. Esta situación implica que cada E_{int} logró alcanzar su requerimiento de CS pretendida. En cambio, si alguna empresa interna hubiese obtenido un valor negativo, entonces la empresa debería decidir entre dos alternativas: i- ajustar su valor de potencia (o de caudal) al valor de la CS obtenida, o ii- atenerse a la penalización por no respetar la CS asignada.

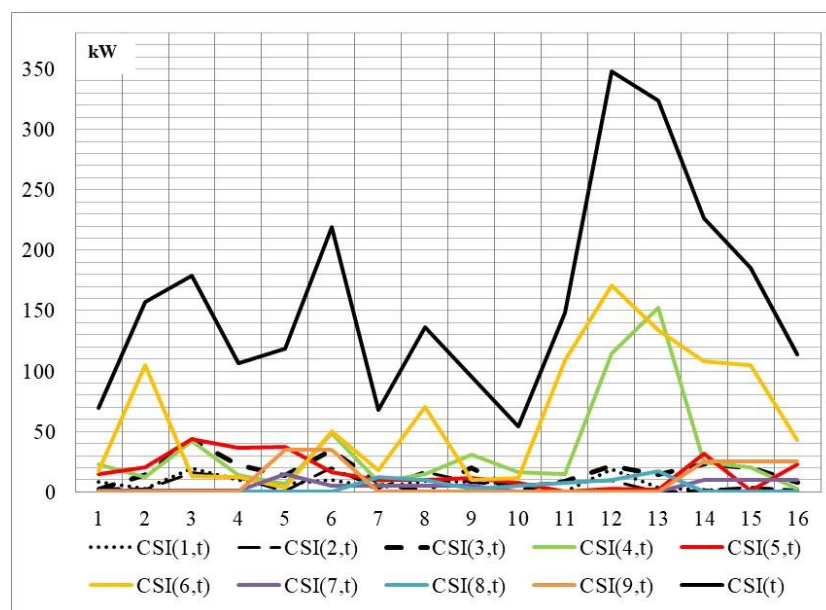


Fig. 5.15. Evoluciones de CSI de EL, a lo largo de 16 períodos considerados. Caso de fracciones de CS contratadas variables entre períodos t .

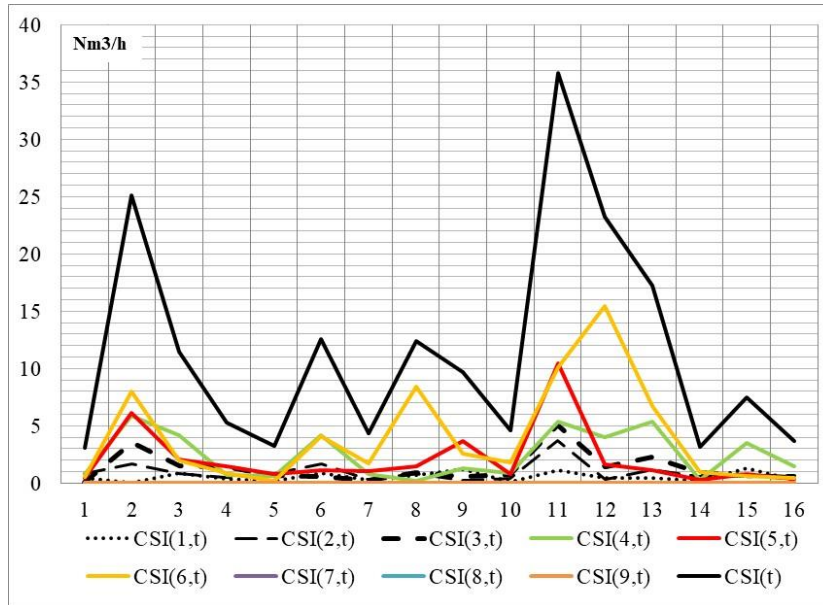


Fig. 5.16. Evoluciones de CSI de GN, a lo largo de 16 períodos considerados. Caso de fracciones de CS contratadas variables entre períodos t .

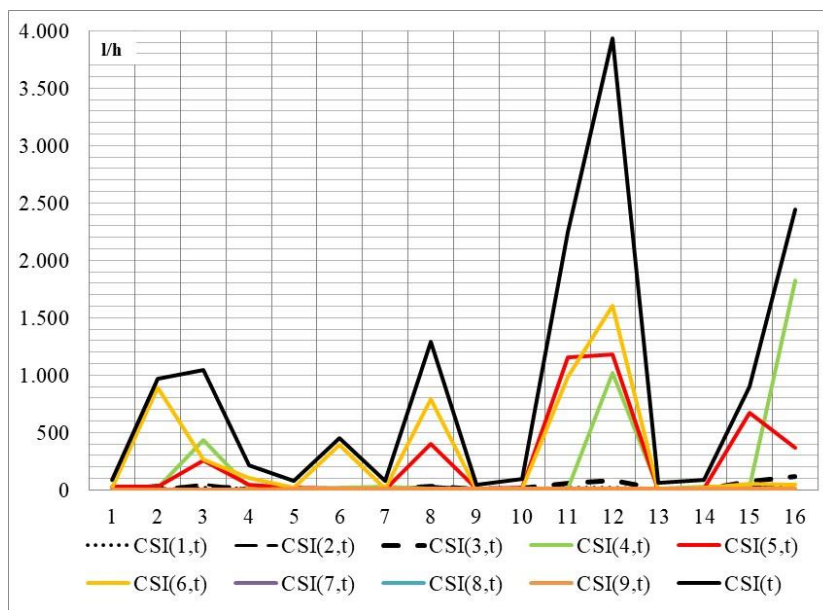


Fig. 5.17. Evoluciones de CSI de APt, a lo largo de 16 períodos considerados. Caso de fracciones de CS contratadas variables entre períodos t .

5.5 Análisis de resultados

A los efectos de presentar una evaluación económica sencilla, se definen los siguientes indicadores, representativos de los precios totales abonados a lo largo de T períodos, por cada participante j :

$$Pr^D(j) = \sum_{t=1}^T Pr(j, t, C(t)) \quad (5.1)$$

$$\Pr^E(j) = CS^E(j) \times \sum_{t=1}^T \left| \frac{\Pr(j,t,C(t))}{CS(j,t,C(t))} \right| \quad (5.2)$$

donde $\Pr^D(j)$ y $\Pr^E(j)$ corresponden a las estrategias dinámica (contrato de CS variable) y estática (contrato de CS constante), respectivamente. El indicador $\Pr^D(j)$ considera la suma de todos los precios variables del participante j en los T períodos de análisis. En cambio, $\Pr^E(j)$ asume una CS constante, $CS^E(j)$, para cada j , y un precio promedio por unidad de CS, calculado en base a la evolución observada en el caso dinámico. El índice $\Pr^E(j)$ no es aplicable a la EDS.

En el presente ejemplo, los valores de $CS^E(j)$ se adoptan iguales a los considerados en las Figs. 5.6, 5.9 y 5.12. Las valoraciones de los índices se muestran en las Tablas 5.X, 5.XI y 5.XII, para EL, GN y APt, respectivamente. En el caso dinámico, se observa que cada jugador puede recibir o pagar un valor económico, y además esos valores son inferiores a los que se obtendrían por aplicación de la estrategia estática.

Los ejemplos de simulación permitieron comparar estrategias estáticas y dinámicas de asignación de CS y precios. En el primer caso, las CS contratadas constantes originaron precios más elevados que los correspondientes a la estrategia dinámica. En esta última, la reducción de precios se logró gracias a la posibilidad de admitir variabilidad en la CS contratada en cada período. Además, para cualquier SE y SNE evaluado se observa que la $CSI_{(ac)}$ y la $CSR_{(ac)}$ son siempre favorables en los casos de estrategia dinámica.

Las evoluciones de $CS(j, t)$, $CSR(t)$, y $CSI(t)$ a lo largo de los 16 períodos analizados, se presentan en las Figs. 5.18, 5.19 y 5.20, para EL, GN y APt, respectivamente. En la Fig. 5.18 (EL), se identifican tres situaciones para el caso de CS contratada variable: i- el comportamiento variable de todas las curvas, ii- la curva de $CSI(t)$ presenta los valores más bajos, y iii- se verifica la situación preferible de $CSR(t) > CSI(t)$. En la Fig. 5.19 (GN), se identifican tres situaciones similares a las anteriores, para CS contratada variable: i- el comportamiento variable de todas las curvas, ii- la curva de $CSI(t)$ exhibe prácticamente en todos los períodos los valores más bajos, y iii- $CSR(t)$ presenta, mayoritariamente, valores superiores a los de $CSI(t)$. Por último, en la Fig. 5.20 (APt), se reiteran las tendencias anteriores: i- el comportamiento variable de todas las curvas, ii- la curva de $CSI(t)$ presenta los valores más bajos, y iii- $CSR(t) > CSI(t)$. En resumen, en todos los casos se observan tendencias y comportamientos similares.

TABLA 5.X - EL: ÍNDICES DE EVALUACIÓN ECONÓMICA, $CSI_{(ac)}$ Y $CSR_{(ac)}$

(PARA T = 16)

| j | $Pr^D(j)$ | $Pr^E(j)$ |
|-------------------|-----------|--------------------------|
| $j = 1$ | -779,73 | -1.436,48 |
| $j = 2$ | -797,00 | -994,60 |
| $j = 3$ | -1.034,55 | -1.454,30 |
| $j = 4$ | -612,23 | -998,09 |
| $j = 5$ | -863,95 | -1.043,41 |
| $j = 6$ | -1.265,93 | -1.510,14 |
| $j = 7$ | -1.482,15 | -54.481,40 |
| $j = 8$ | -335,58 | -1.007,17 |
| $j = 9$ | -2.020,05 | -18.897,42 |
| $j = 10$ (EDS) | 7.374,23 | 81.823,00 ^(*) |
| $j = sb$ | 1.816,93 | - |
| $CSI_{(ac)}$ | 2.550,15 | 32.865,15 |
| $CSR_{(ac)}$ | 39.115,00 | 8.800,00 |

(*) Calculado como: $-\{CS^E(1) + CS^E(2) + CS^E(3) + \dots + CS^E(9)\}$.

TABLA 5.XI - GN: ÍNDICES DE EVALUACIÓN ECONÓMICA, $CSI_{(ac)}$ Y $CSR_{(ac)}$

(PARA T = 16)

| j | $Pr^D(j)$ | $Pr^E(j)$ |
|-------------------|-----------|-------------------------|
| $j = 1$ | -742,85 | -1.368,48 |
| $j = 2$ | -677,55 | -827,65 |
| $j = 3$ | -811,35 | -1.151,63 |
| $j = 4$ | -445,20 | -647,81 |
| $j = 5$ | -734,25 | -873,76 |
| $j = 6$ | -991,80 | -1.245,97 |
| $j = 11$ (EDS) | 3.775,95 | 6.115,29 ^(*) |
| $j = sb$ | 627,05 | - |
| $CSI_{(ac)}$ | 182,28 | 883,78 |
| $CSR_{(ac)}$ | 1.213,50 | 512,00 |

(*) Calculado como: $-\{CS^E(1) + CS^E(2) + CS^E(3) + \dots + CS^E(6)\}$.

TABLA 5.XII – APt: ÍNDICES DE EVALUACIÓN ECONÓMICA, $CSI_{(ac)}$ Y $CSR_{(ac)}$

(PARA T = 16)

| j | $Pr^D(j)$ | $Pr^E(j)$ |
|-------------------|------------|--------------------------|
| $j = 1$ | -4.911,00 | -9.643,26 |
| $j = 2$ | -5.197,60 | -6.680,06 |
| $j = 3$ | -5.927,65 | -8.794,68 |
| $j = 4$ | -3.451,95 | -5.363,45 |
| $j = 5$ | -4.568,25 | -5.390,81 |
| $j = 6$ | -6.473,10 | -8.551,56 |
| $j = 9$ | -145,50 | -8.487,58 |
| $j = 12$ (EDS) | 25.911,70 | 52.911,40 ^(*) |
| $j = sb$ | 4.763,35 | - |
| $CSI_{(ac)}$ | 14.016,80 | 105.068,30 |
| $CSR_{(ac)}$ | 123.851,50 | 32.800,00 |

(*) Calculado como: $-\{CS^E(1) + CS^E(2) + CS^E(3) + \dots + CS^E(6) + CS^E(9)\}$.

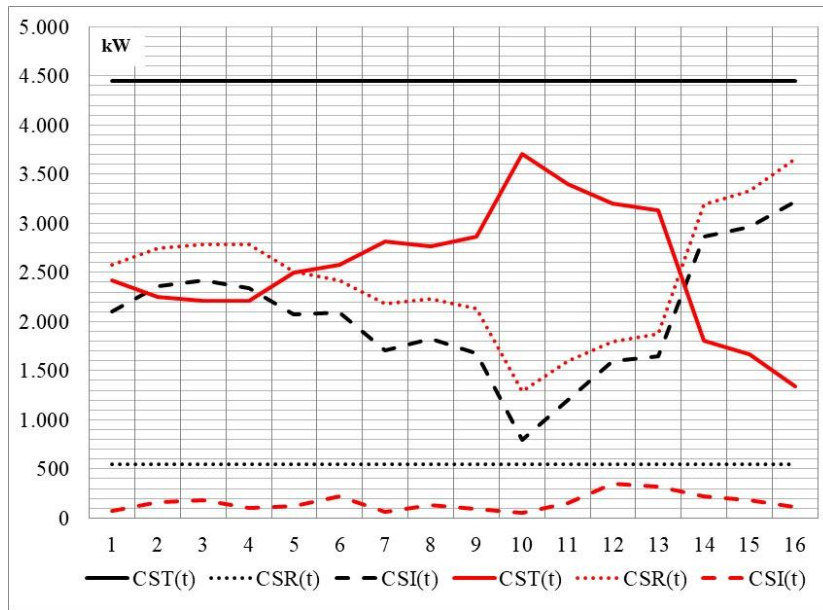


Fig. 5.18. Evoluciones de CS, CSR y CSI para EL, a lo largo de 16 períodos considerados. Caso de fracciones de CS contratadas fijas (color negro) y variables (color rojo) entre períodos t .

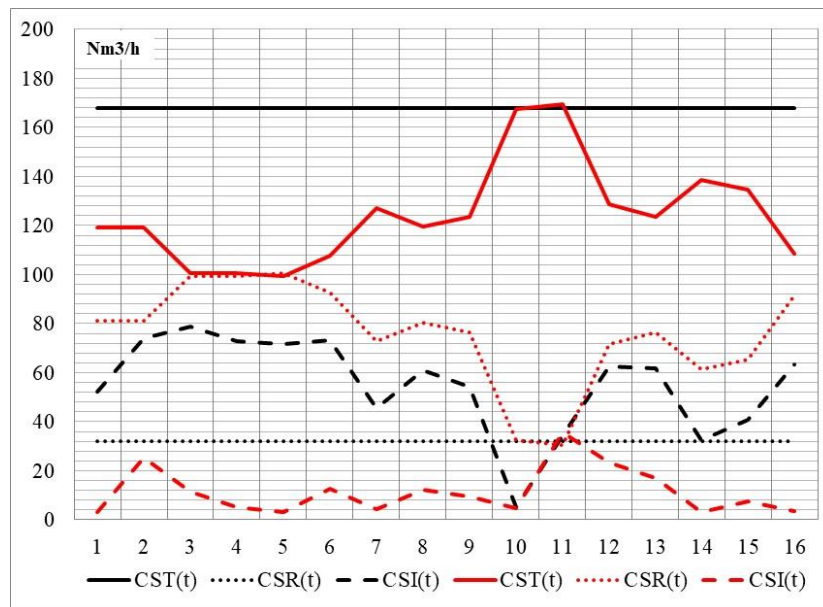


Fig. 5.19. Evoluciones de CS, CSR y CSI para GN, a lo largo de 16 períodos considerados. Caso de fracciones de CS contratadas fijas (color negro) y variables (color rojo) entre períodos t .

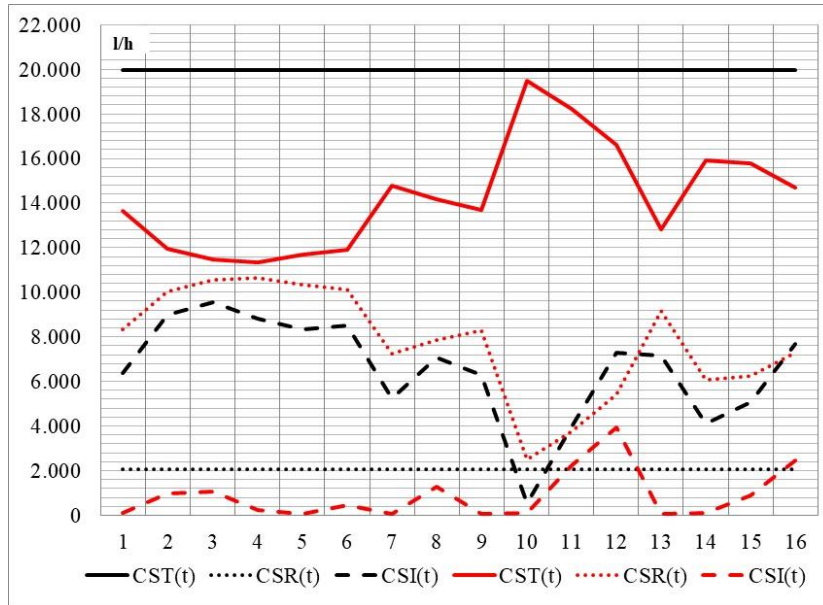


Fig. 5.20. Evoluciones de CS, CSR y CSI para APT, lo largo de 16 períodos considerados. Caso de fracciones de CS contratadas fijas (color negro) y variables (color rojo) entre períodos t .

5.6 Conclusiones

En este Capítulo, se presentó un caso de estudio de un IP relativamente sencillo, donde se evaluaron las propuestas de negociación desarrolladas en el Capítulo 4. El IP estudiado tiene múltiples empresas (internas y externas) y diversos servicios, habiéndose limitado las negociaciones al caso de electricidad, gas natural y agua potable.

En general, la estrategia de negociación dinámica de CS logra que el comportamiento de la curva de CS acompañe las variaciones de los SE o SNE. En efecto, el mecanismo de negociación, en función de las preferencias de cada E_{int} , busca obtener una $CSI(j, t)$ lo más pequeña posible, dando lugar a que la $CSR(j, t)$ de cada E_{ext} pueda ser la máxima. La situación ideal, donde la $CSI(j, t)$ sea exactamente nula en todas las E_{int} (lo cual a su vez implicaría una $CSR(j, t)$ máxima para cada E_{ext}), se corresponde con un equilibrio donde hay un máximo intercambio de SE y SNE, entre las E_{int} y E_{ext} . Esta situación es alcanzable si la $CSI(j, t)$ de cada E_{int} es próxima a cero. En la modalidad actual, el comportamiento estático de la CS se encuentra lejos de converger, y si en alguna ocasión esa convergencia se presenta, mantenerla en el tiempo (para cada período t) es una tarea dificultosa. Además, en la modalidad actual, la penalidad que recae sobre cada E_{int} por no cumplir con el valor asignado de CS es difícil que suceda.

El punto de equilibrio obtenido es además útil para proporcionar información adecuada y oportuna a los distintos agentes participantes, facilitando una correcta toma de

decisiones. Mediante la simulación del mecanismo propuesto se mostró que no solo se arriba o se asegura un equilibrio para las E_{int} o E_{ext} , sino que también permite que se presenten intercambios entre los SE y SNE. En efecto, si un conjunto de empresas deja de utilizar un determinado tipo de SE o SNE para usar otro, otras E_{int} o E_{ext} pueden tomar lo que la primera ha liberado, minimizándose entonces la $CSI(t)$ y maximizándose la $CSR(t)$. Por otra parte, la seguridad de los datos de la transacción queda determinada por la relación biunívoca existente entre precio-participante, dado que no se originan dos valores monetarios iguales o en ventas o en compras.

La incorporación de empresas internas como por ejemplo relacionadas a GFV, SADE y HRS, que tienen un comportamiento dinámico respecto del servicio al que responde, no solo permite incrementar las tareas asociadas a la actividad del IP, sino que el hecho de acrecentar el número de participantes intervinientes en la *Subasta*, mejora el intercambio de CS y su precio como se discutió en el Capítulo 3, ventajas no existentes en el caso de CS contratada constante.

6 Conclusiones generales y posibles trabajos a futuro

6.1 Conclusiones generales

El dominio de desarrollo de esta tesis corresponde a un parque industrial (IP) genérico, donde se radica un conjunto de empresas; posiblemente, industrias en su mayoría, pero también podrían ser empresas de provisión de servicios. La característica común a todas estas empresas es su conveniencia en mejorar los costos o beneficios asociados a sus servicios de consumo o provisión de energías o recursos. En tal sentido, la mayoría de esos servicios son energéticos (electricidad, gas natural, combustibles líquidos, vapor de proceso, aire comprimido, etc.), pero es posible incluir también otros tipos de servicios (como la provisión de agua potable, el tratamiento de aguas servidas o de desechos, etc.).

Indudablemente, la instancia de interés definitiva de toda empresa será la de mejorar su rentabilidad económica. Aquellas empresas consumidoras de servicios estarán motivadas por reducir sus costos asociados; mientras que las proveedoras de servicios pretenderán en todo caso incrementar sus ventas y maximizar sus beneficios. Los esquemas vigentes de contratación de servicios son totalmente rígidos, en el sentido que cada empresa, en forma aislada, acuerda con un proveedor las condiciones contractuales del servicio. Este modelo de contratación tiene características estáticas, en el sentido que perdura en el tiempo (meses o años), aun cuando las reales necesidades del servicio contratado se modifiquen en el curso del tiempo.

En este contexto, la tesis propone una estrategia de negociación dinámica para la contratación de servicios rutinarios por parte de las empresas radicadas en el IP. A la unidad normalizada de negociación se la denomina *Capacidad de Suministro* (CS), independientemente del servicio en cuestión. Por ejemplo, en el caso del servicio eléctrico, la CS es la potencia máxima que la empresa requirente se compromete a demandar a la empresa proveedora —*Empresa Distribuidora de Energía* (EDE)—, durante un período de tiempo acordado y a un precio preestablecido. Este mecanismo de contratación es claramente estático, y está sujeto a una posible penalización ante un exceso en la demanda.

En este contexto, se propone un marco estratégico que apunta a gestionar de manera eficiente las necesidades energéticas de un grupo de empresas radicadas en el IP. La estrategia de negociación se formaliza en un procedimiento de asignación de precios y de

fracciones de CS, denominado PAPYCS (presentado en el Capítulo 3). El PAPYCS permite a cada empresa radicada en un IP elegir estratégicamente las fracciones de CS que desea vender o comprar, y sus respectivos precios. Al estar basado en un mecanismo de negociación de subasta doble, la estrategia de negociación es dinámica y flexible y puede ser ejecutada cuando algún participante requiere modificar las condiciones de contratación de algún recurso energético. El PAPYCS introduce la figura del “*Subastador*” como agente supervisor de la negociación y gestor del proceso de subasta doble.

El PAPYCS fue desarrollado considerando un caso de estudio simplificado que involucra a pocas empresas, y a un único servicio con una única empresa proveedora del mismo. Se encuentra compuesto por tres algoritmos de ejecución secuencial, que requieren una implementación sencilla y un tiempo reducido para resolver de manera eficiente las necesidades de CS del grupo de empresas radicadas en el IP, y la prestación de CS por la EDE. El *Subastador* decide el momento de inicio y de desarrollo de la negociación, y actúa como agente compensador en el caso de no encontrarse un ajuste exacto entre las ofertas y demandas de cada participante de la subasta doble. El procedimiento permite dinamizar el posicionamiento de cada empresa, sin necesidad de esperar largos períodos de tiempo para la redefinición de los contratos.

En el Capítulo 3, los resultados de simulación mostraron que las empresas del IP reducen los costos de contratación, logrando este efecto al disminuir la CS inactiva, la cual se va adecuando a la evolución de sus requerimientos temporales. De esta manera, cada empresa evita contratar CS excesivas durante tiempos prolongados. Por su parte, la EDE también maximiza sus beneficios, porque logra satisfacer a todas las empresas involucradas a la vez que incrementa su reserva de CS remanente, la cual podría ofrecer a otros potenciales clientes no residentes en el IP. En definitiva, en su conjunto, la propuesta implica un cambio en el paradigma de contratación de CS, promoviendo una migración hacia una concepción más flexible y dinámica de los esquemas de contratación vigentes.

El Capítulo 4 se aboca a extender el concepto de CS a otros servicios, y a generalizar el mecanismo propuesto para considerar múltiples negociaciones de CS entre empresas, servicios y recursos en forma secuencial y propias a cada período t . Además, se incorporaron tres conceptos o componentes que intervienen como posibilidades propias

de cada empresa: (i) recurso de transformación: para permitir transformar un recurso existente en otro; (ii) recurso de almacenamiento: para permitir almacenar temporariamente un recurso; y (iii) recurso de generación: para permitir generar un recurso. Estos tres recursos pasaron a integrar el nuevo mecanismo de negociación de CS. También se habilitó la posibilidad de que empresas externas al IP puedan participar en las negociaciones proveyendo uno o más servicios.

El *Subastador* es quien decide en qué momento se inician las negociaciones de CS conformadas por distintos servicios y empresas. Para ello, posee información centralizada de las empresas del IP que participan de la negociación evitando que las industrias deban mostrar sus datos de consumo o generación a otras empresas, y así asegurando restricciones de confidencialidad. Toda empresa del IP conoce el posicionamiento de cada una de las restantes, permitiendo una definición estratégica de su nuevo posicionamiento a adoptar al momento de la apertura de una nueva subasta. Por otra parte, asegurando la transparencia de la información del IP, se brindan herramientas para que empresas nuevas deseadas de participar en los procesos de negociación de CS puedan eventualmente decidir su rol. Se presentan diagramas de proceso para visualizar con mayor claridad la secuencia de contratación de CS propuesta. Por un lado, esos diagramas definen las responsabilidades y actividades de cada uno de los actores involucrados; por otro, describen el flujo de información entre ellos, asegurando mayor transparencia para todas las empresas del IP.

En el Capítulo 5 se desarrolla un caso de estudio que muestra la aplicación del mecanismo de negociación en un IP simple, donde intervienen varias empresas y se intercambian algunos servicios. Los indicadores propuestos y calculados como resultado de un conjunto de negociaciones evalúan económicamente la propuesta, comparando a la estrategia dinámica (por contratos de CS variables) con la estática (por contratos de CS constantes). También permiten visualizar las evoluciones de CS, CSR y CSI para los distintos servicios en los períodos considerados. El cálculo de dichos indicadores pretende aportar a la provisión de información consolidada que pueda ser utilizada para la toma de decisiones por parte de las empresas a la hora de una nueva subasta de negociación. Se muestra también que el PAPYCS original se pudo aplicar y permite llevar a cabo negociaciones de diferentes recursos utilizando una única estrategia, la cual se puede adaptar a diferentes configuraciones del IP sin requerir detalles específicos de su infraestructura.

En definitiva, la tesis deja planteada una nueva estrategia de negociación que apunta a promover alternativas para reducir los costos de contratación de CS en industrias de un IP. Implican un cambio en el paradigma de contratación, promoviendo una migración hacia una concepción más flexible y dinámica de los esquemas de contratación vigentes. La adaptación dinámica de los contratos de CS promueve la reducción de la CS inactiva de cada empresa, debido a que se va adecuando a la evolución de sus requerimientos temporales, evitando contratar CS excesivas durante períodos de tiempo prolongados. La propuesta pretende ser un aporte para fortalecer el desarrollo de IP.

6.2 Posibles trabajos a futuro

Este trabajo de tesis deja abiertas diferentes líneas posibles de trabajos a realizar en un futuro. A continuación, se detallan aquellos aspectos que se han identificado como los más relevantes para abordar en nuevas investigaciones.

- A) *Negociación simultánea de CS.* En este nuevo enfoque, se debería estudiar la posibilidad que una o más empresas participen simultáneamente en la negociación de más de una CS. En principio, de abordarse con éxito esta estrategia, debería conducir a estados de negociación más optimizados con respecto a la estrategia actualmente propuesta sobre un conjunto de negociaciones de CS en forma secuencial, y propias a cada período t .
- B) *Definición de criterios para que el Subastador aplique antes de iniciar una nueva negociación de CS.* Estos criterios permitirían establecer reglas de juegos claras, habilitando a los participantes de la subasta para que puedan planificar de manera adecuada sus recursos energéticos y definan su posicionamiento estratégico a la hora de involucrarse en una nueva subasta de negociación.
- C) *Extensión del PAPYCS para incluir otras alternativas de negociación.* Por ejemplo, dos o más empresas podrían agruparse para comercializar y negociar en forma conjunta una única fracción de CS total, donde el reparto de la CS resultante de la negociación pase a estar regido por un contrato exclusivo entre las partes. También, a una empresa que tiene déficit (o exceso) de un determinado recurso energético y no satisface sus requerimientos en la subasta, se le podría ofrecer la posibilidad de comercializar, de manera independiente, con otra empresa que no participa de la negociación.
- D) *Definición de nuevos indicadores.* Asociados al resultado del proceso de negociación que permitan monitorear la evolución de los IP, visualizando a través

de ellos, por ejemplo, el incremento o no de nuevos recursos energéticos por parte de las empresas o el grado de participación en distintas subastas. Y asociados también al *Subastador* que permitan evaluar su desempeño en las negociaciones.

- E) *Negociación en condiciones de riesgo*. Una empresa podría arriesgarse a ofrecer una cantidad de CS que no posee, motivada por la posibilidad de lograr una mejora en el precio del servicio donde podría ser demandante. Obviamente, el riesgo es quedar en una posición donde no pueda satisfacer el resultado de la negociación, incurriendo en una penalización.
- F) *Múltiples oferentes de un mismo servicio*. Se podría extender PAPYCS para permitir que más de una empresa pueda ser oferente de un determinado servicio energético. En algunos servicios regulados, esta posibilidad no es factible debido a razones normativas; pero otros servicios quizá menos críticos podrían ser objeto de este estudio.
- G) *Posibilidades de migrar hacia un enfoque de negociación “cooperativa”*. En este enfoque, todas las empresas se posicionan para buscar un bien común para el conjunto de empresas del IP (en contrapartida al enfoque “competitivo” establecido por la estrategia de negociación desarrollada en este trabajo).

7 Referencias bibliográficas

- [1] Secretaría de Energía, «Escenarios Energéticos 2030, Documento de síntesis,» Leonardo Javier Mastronardi y Luciano Caratori, Bs As, Argentina, 2019.
- [2] M. Butturi, F. Lolli, M. Sellitto, E. Balugani, R. Gamberini y B. Rimini, «Renewable energy in eco-industrial parks and urban-industrial symbiosis: A literature review and a conceptual synthesis,» *Applied Energy*, vol. 255, 2019.
- [3] MINCYT, «Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, Plan Argentina Innovadora 2020,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/pai2020.pdf>. [Último acceso: 31 Agosto 2021].
- [4] D. Bouille, A. Behnisch, G. Bravo, N. Sbroiavacca, H. Dubrovsky, F. Lallana, G. Nadal, H. Pistonesi, M. Recalde, B. Ruchansky, R. Landaveri, A. Romano y I. Sagardoy, Propuesta del Plan Nacional de Eficiencia Energetica Argentina, Bariloche: GFA Consulting Group, 2021.
- [5] S. Chowdhury y P. Crossley , «Microgrids and Active Distribution Networks,» *The Institution of Engineering and Technology, London, U.K. ISBN: 978-1-84919-014-5*, 2009.
- [6] IEEE Standards Coordinating Committee 21 , «IEEE Std. 1547.4-2011: IEEE Guide for Design, Operation, and Integration of Distributed Resource Island Systems with Electric Power Systems,» 2011.
- [7] A. Ali, W. Li, R. Hussain, X. He, B. W. Williams y A. H. Memon, «Overview of Current Microgrid Policies, Incentives and Barriers in the European Union, United States and China,» *Sustainability*, vol. 9, n° 1146, pp. 1-28, 2017.

- [8] P. Shrivastava, «The role of corporations in achieving ecological sustainability,» *Acad. Manag.*, n° Rev. 20, pp. 936-960, 1995.
- [9] J. Y. Yong, J. J. Klemes, P. S. Varbanov y D. Huisingh, «Cleaner energy for cleaner production: modelling, simulation, optimisation and waste management,» *J. Clean.*, n° Prod. 111, pp. 1-16, 2016.
- [10] R. A. Frosch y N. E. Gallopoulos, «Strategies for Manufacturing,» *Scientific American*, pp. 1-7, 1989.
- [11] N. B. Jacobsen, «Industrial symbiosis in Kalundborg, Denmark,» *J. Ind. Ecol.*, n° 10, pp. 239-255, 2006.
- [12] M. Martin y M. Eklund, «Improving the environmental performance of biofuels with industrial symbiosis,» *Biomass Bioenergy*, vol. 35, pp. 1747-1755, 2011.
- [13] V. Andiappan, R. R. Tan y D. K. Ng, «An optimization-based negotiation framework for energy systems in an eco-industrial park,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 129, pp. 496-507, 2016.
- [14] J. Korhonen, «Co-production of heat and power: an anchor tenant of a regional industrial ecosystem,» *J. Clean. Prod.*, n° 9, pp. 509-517, 2001.
- [15] E. A. Lowe, S. R. Moran y D. B. Holmes, *Fieldbook for the Development of Ecoindustrial Parks*, Oakland, California: Indigo Development, 1996.
- [16] M. Boix, L. Montastruc, C. Azzaro-Pantel y S. Domenech, «Optimization methods applied to the design of eco-industrial parks: a literature review,» *J. Clean. Prod.*, n° 87, pp. 303-317, 2015.
- [17] D. Iglesias Piña, F. Carreño Meléndez y A. N. J. Carrillo Arteaga, «Algunos determinantes para la formación de Sistemas Productivos en los Parques Industriales,» de *20° Encuentro Nacional sobre Desarrollo Regional*, Mexico, 2015.
- [18] T. Maes, G. Van Eetvelde, E. De Ras, C. Block, A. Pisman, B. Verhofstede, F. Vandendriessche y L. Vandeveldel, «Energy management on industrial parks

- in Flanders,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 15, Issue 4*, pp. 1988-2005, 2011.
- [19] G. Carrillo González, «Una revisión de los principios de la ecología industrial,» *Argumentos (Méx.) vol.22 no.59 México*, pp. 247-265, 2009.
- [20] R. P. Côté y E. Cohen-Rosenthal, «Designing eco-industrial parks: a synthesis of some experiences,» *Journal of Cleaner Production, Volume 6, Issues 3–4*, pp. 181-188, 1998.
- [21] R. Côté y J. Hall, «Industrial parks as ecosystems,» *Journal of Cleaner Production, Volume 3, Issues 1–2,,* pp. 41-46, 1995.
- [22] D. R. Lombardi y P. Laybourn, «Redefining Industrial Symbiosis,» *Journal of Industrial Ecology, Volume 16, Number 1*, p. 28–37, 2012.
- [23] T. Jackson y R. Clift, «Where's the profit in industrial ecology?,» *J. Ind. Ecol. 2,, n° 2*, pp. 3-5, 1998.
- [24] I. M. L. Chew y D. Foo, «Automated targeting for inter-plant water integration,» *Chem. Eng. J. , n° 153*, pp. 23-36, 2009.
- [25] I. M. L. Chew, D. C. Y. Foo, D. K. S. Ng y R. R. Tan, «Flowrate targeting algorithm for interplant resource conservation network. Part 1: unassisted integration scheme,» *Ind. Eng. Chem. Res., n° 49*, pp. 6439-6455, 2010a.
- [26] I. M. L. Chew, D. C. Y. Foo y R. R. Tan, «Flowrate targeting algorithm for interplant resource conservation network. Part 2: assisted integration scheme,» *Ind. Eng. Chem. Res., n° 49*, pp. 6456-6468, 2010b.
- [27] M. S. Taskhiri, R. R. Tan y A. S. F. Chiu, «Energy-based fuzzy optimization approach for water reuse in an eco-industrial park,» *Resour. Conserv. Recycl., n° 55*, pp. 730-737, 2011.
- [28] S. R. Lim y J. M. Park, «Interfactory and intrafactory water network system to remodel a conventional industrial park to a green eco-industrial park,» *Ind. Eng. Chem. Res., pp. 1351-1358*, 2010.

- [29] D. C. López-Díaz, L. F. Lira-Barragán, E. Rubio-Castro, J. M. Ponce-Ortega y M. M. El-Halwagi, «Synthesis of eco-industrial parks interacting with a surrounding watershed,» *ACS Sustain. Chem. Eng.*, n° 3, pp. 1564-1578, 2015.
- [30] K. B. Aviso, «Design of robust water exchange networks for eco-industrial symbiosis,» *Process Saf. Environ. Prot.*, n° 92, pp. 160-170, 2014.
- [31] K. B. Aviso, R. R. Tan y A. B. Culaba, «Designing eco-industrial water Exchange networks using fuzzy mathematical programming,» *Clean Technol. Environ. Policy*, n° 12, pp. 353-363, 2010.
- [32] K. B. Aviso, R. R. Tan, A. B. Culaba y J. B. Cruz, «Bi-level fuzzy optimization approach for water exchange in eco-industrial parks,» *Process Saf. Environ. Prot.*, n° 88, pp. 31-40, 2010.
- [33] J. Von Ne y D. Morgenstern, *Theory of Games and Economic Behavior*, New York, NY: Wiley, 1944.
- [34] I. M. L. Chew, R. R. Tan, D. C. Y. Foo y A. S. F. Chiu, «Game theory approach to the analysis of inter-plant water integration in an eco-industrial park,» *J. Clean. Prod.*, n° 17, pp. 1611-1619, 2009.
- [35] S. H. Chae, S. H. Kim, S. G. Yoon y S. Park, «Optimization of a waste heat utilization network in an eco-industrial park. Appl,» *Energy*, n° 87, pp. 1978-1988, 2010.
- [36] S. H. Kim, S. G. Yoon, S. H. Chae y S. Park, «Economic and environmental optimization of a multi-site utility network for an industrial complex,» *J. Environ. Manag.*, n° 91, pp. 690-705, 2010.
- [37] M. Atkins, M. Walmsley, A. Morrison y J. Neale, «Process integration in pulp and paper mills for energy and water reduction - a review,» *In: 65th Appita Annual Conference and Exhibition: Rotorua New Zealand 10-13 April 2011. Appita Inc., Carlton, Vic.*, n° 299-306, 2011.
- [38] C. L. Chen y C. Y. Lin, «Retrofit of steam power plants in eco-industrial parks,» *Chem. Eng. Trans.*, n° 29, pp. 145-150, 2012.

- [39] P. Y. Liew, S. R. Wan Alwi, P. S. Varbanov, Z. A. Manan y J. J. Klemes, «Centralised utility system planning for a total site heat integration network,» *Comput. Chem. Eng.*, nº 57, pp. 104-111, 2013.
- [40] V. R. Dhole y B. Linnhoff, «Total site targets for fuel, co-generation, emissions, and cooling,» *Comput. Chem. Eng.*, nº 17, pp. S101-S109, 1993.
- [41] V. Gonela y J. Zhang, «Design of the optimal industrial symbiosis system to improve bioethanol production,» *J. Clean. Prod.*, nº 64, pp. 513-534, 2014.
- [42] M. F. D. Benjamin, R. R. Tan y L. F. Razon, «A methodology for criticality analysis in integrated energy systems,» *Clean Technol. Environ. Policy*, nº 17, pp. 935-946, 2014.
- [43] M. F. D. Benjamin, R. R. Tan y L. F. Razon, «Probabilistic multi-disruption risk analysis in bioenergy parks via physical input-output modeling and analytic hierarchy process,» *Sustain. Prod. Consum.*, nº 1, pp. 22-33, 2015.
- [44] W. W. Weaver y P. T. Krein, «Game-theoretic control of small scale power systems,» *IEEE Trans. Power Del.*, pp. 1560-1567, 2009.
- [45] E. Baeyens, E. Y. Bitar, P. Khargonekar y K. Poolla, «Wind energy aggregation: A coalitional game approach,» *IEE Conf. Decision Control (CDC)*, 2011.
- [46] X. Z. Xu y Q. Chen, «Research on reactive power compensation algorithm based on game theory in wind farm,» *Key Eng. Mayer*, pp. 989-993, 2010.
- [47] M. S. Chamba y O. Añó, «Economic dispatch of energy and reserve in competitive markets using meta-heuristic algorithms,» *IEE Latin America Transactions*, pp. 473-478, 2013.
- [48] J. C. Silva Chavez, A. Zamora-Mendez, M. R. Arrieta Paternina, J. F. Yrena Heredia y R. Cardenas-Javier, «A hybrid optimization framework for the non-convex economic dispatch problem via meta-heuristic algorithm,» *Electr. Power Syst. Res.*, p. vol 177, 2019.

- [49] B. F. Hobbs, C. B. Metzler y J. S. Pang, «Strategic gaming analysis for electric power systems: An MPEC approach,» *IEEE Trans. Power Syst.*, pp. 638-645, 2000.
- [50] S. K. Ng, C. Lee y J. Zhong, «A game-theoretic approach to study strategic interaction between transmission and generation expansion planning,» *in Proc. 38th North Amer. Power Symp.*, pp. 115-120, 2006.
- [51] E. Bompard, W. Lu y R. Napoli, «Network constraint impacts on the competitive electricity markets under supply-side strategic bidding,» *IEEE Trans. Power Syst.*, pp. 160-170, 2006.
- [52] W. El-Baz, P. Tzscheuschler y U. Wagner, «Integration of energy markets in microgrids: A double-sided auction with device-oriented bidding strategies,» *Applied Energy 241*, pp. 625-639, 2019.
- [53] W. Saad, Z. Han, H. V. Poor y T. Basar, «A noncooperative game for double auction-based energy trading between PHEVs and distribution grids,» *In Proc. IEEE Int. Conf. Smart Grid Commun*, 2011.
- [54] P. R. Wurman, W. E. Walsh y M. P. Wellman, «Flexible double auctions for electronic commerce: Theory and implementation,» *Decision Support Systems*, pp. 17-27, 1998.
- [55] B. H. Zaidi y S. H. Hong, «Combinatorial double auctions for multiple microgrid trading,» *Electrical Engineering*, pp. 1-15, 2017.
- [56] J. Wang, Q. Wang, N. Zhou y Y. Chi, «A Novel Electricity Transaction Mode of Microgrids Based on Blockchain and Continuous Double Auction,» *Energies*, p. 10. 1971, 2017.
- [57] S. Thakur, B. P. Hayes y J. G. Breslin, «Distributed Double Auction for Peer to Peer Energy Trade using Blockchains,» *5th Int. Symp. on Environment-Friendly Energies and Applications (EFEA)*, 2018.
- [58] E. Cerdá, J. Pérez y J. L. Jimeno, *Teoría de Juegos*, Madrid: Pearson Prentice Hall, 2004.

- [59] M. Yokoo, Y. Sakurai y S. Matsubara, «Robust double auction protocol against false-name bids,» *Proc. 21st Intern. Conf. on Distributed Computing Systems, Publisher: IEEE*, pp. 137-145, 2001.
- [60] J. D. Molina y H. Rudnick, «Transmission of electric energy: A Bibliographic review,» *IEEE Latin America Transactions*, pp. 245-258, 2010.
- [61] M. S. Taskhiri, S. K. Behera, R. R. Tan y H. S. Park, «Fuzzy optimization of a waste to energy network system in an eco-industrial park,» *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, n° 17, pp. 476-489, 2014.
- [62] R. T. L. Ng, D. K. S. Ng y R. R. Tan, « Systematic approach for synthesis of integrated palm oil processing complex. Part 2: multiple owners,» *Ind. Eng. Chem. Res.*, n° 52, pp. 10221-10235, 2013.
- [63] R. T. L. Ng y D. Ng, «Systematic approach for synthesis of integrated palm oil processing complex. Part 1: single owner,» *Ind. Eng. Chem. Res.*, n° 52, pp. 10206-10220, 2013.
- [64] R. T. L. Ng, D. K. S. Ng, R. R. Tan y M. M. El-Halwagi, «Disjunctive fuzzy optimisation for planning and synthesis of bioenergy-based industrial symbiosis system,» *J. Environ. Chem. Eng.*, n° 2, pp. 652-664, 2014.
- [65] G. Wang, X. Feng y K. H. Chu, «A novel approach for stability analysis of industrial symbiosis systems,» *J. Clean. Prod.*, n° 39, pp. 9-16, 2013.
- [66] R. T. L. Ng, D. K. S. Ng y R. R. Tan , «Optimal planning, design and synthesis of symbiotic bioenergy parks,» *J. Clean. Prod.*, n° 87, pp. 291-302, 2015.
- [67] M. Hiete, J. Ludwig y F. Schultmann, «Intercompany energy integration,» *J. Ind. Ecol.*, n° 16, pp. 689-698, 2012.
- [68] L. Shapley, «A value for n-person games,» de *Contributions to the Theory of Games*, Princeton, New Jersey, Kuhn, H.W., Tucker, A.W. (Eds.), Princeton University Press, 1953, pp. 207-317.

- [69] D. Zhang, N. J. Samsatli, A. D. Hawkes, D. J. L. Brett, N. Shah y L. G. Papageorgiou, «Fair electricity transfer price and unit capacity selection for microgrids,» *Energy Econ.*, nº 36, pp. 581-593, 2013.
- [70] R. R. Tan, V. Andiappan, Y. Kin, R. Ng y D. K. S. Ng, , «An optimization-based cooperative game approach for systematic allocation of costs and benefits in interplant process integration,» *Chem. Eng. Res. Des.*, nº 106, pp. 43-58, 2015.
- [71] Y. Maali, «A multiobjective approach for solving cooperative n-person games,» *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, nº 31, pp. 608-610, 2009.
- [72] J. Kronenberg, *Ecological Economics and Industrial Ecology: a Case Study of the Integrated Product Policy of the European Union*, New York: Routledge, 2007.
- [73] A. L. Mayer, «Ecologically-based approaches to evaluate the sustainability of industrial systems,» *Int. J. Sustain. Soc.*, nº 1, pp. 117-133, 2008.
- [74] F. Mohamed , «Microgrid Modelling and Online Management,» *Ph.D. Thesis, Helsinki University of Technology, Report 154*, 2008.
- [75] D. Zhang , «Optimal Design and Planning of Energy Microgrids,» *Ph.D. Thesis, University College London*, 2013.
- [76] R. P. McAfee, «A dominant strategy double auction,» *Journal of Economic Theory*, pp. 434-450, 1992.
- [77] N. Rotering y M. Ilic, «Optimal charge control of plug-in hybrid electric vehicles in deregulated electricity markets,» *IEEE Trans. Power Syst.*, pp. 1021-1029, 2011.
- [78] N. Lu, J. H. Chow y A. A. Desrochers, «Pumped-storage hydro-turbine bidding strategies in a competitive electricity market,» *IEE Trans. Power Syst.*, pp. 834-841, 2004.

- [79] Y. Wang, W. Saad, Z. Han, H. V. Poor y T. Basar, «A Game-Theoretic Approach to Energy Trading in the Smart Grid,» *IEEE Trans. on Smart Grid*, pp. 1439-1450, 2014.
- [80] EPESF, «Regimen Tarifario Empresa Provincial de la Energia de Santa Fe,» *Reglamento*, 2003.
- [81] ENARGAS, «DECRETO 2255/92 - ANEXO «B»: LICENCIA DE DISTRIBUCION,» *Reglamento*, pp. 133-169, 1992.
- [82] ENRESS, «DECRETO 1358/07 ANEXO 1,» *Reglamento*, pp. 1-280, 2007.
- [83] A. Rocchi, E. Fernandez y J. Vega, «A Double-Auction Mechanism for Distribution of Electrical Supply Capacities among Entreprises of an Industrial Park,» *IEEE Latin America Transactions*, Vol. 100 No. 1e, 2020.
- [84] A. M. Hein, B. Yannou, M. Jankovic y R. Farel, «A CONCEPTUAL FRAMEWORK FOR ECO-INDUSTRIAL PARKS,» Proceedings of the ASME 2015 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Boston, Massachusetts, USA, 2015.
- [85] E. Romero y M. C. Ruiz, «Framework for applying a complex adaptive system approach to model the operation of eco-industrial parks,» *J. Ind. Ecol.*, vol. 17, n° 5, p. 731–741, 2013.
- [86] E. Romero y M. C. Ruiz, «Proposal of an agent-based analytical model to convert industrial areas in industrial eco-systems,» *Sci. Total Environ.*, vol. 468, pp. 394-405, 2014.
- [87] M. Rosa y A. Beloborodko, «A decision support method for development of industrial synergies: case studies of Latvian brewery and wood-processing industries,» *J. Clean. Prod.*, n° 105, pp. 461-470, 2014.
- [88] K. Cao , X. Feng y H. Wan, «Applying agent-based modeling to the evolution of eco-industrial systems,» *Ecol. Econ.* , vol. 68, n° 11, p. 2868–2876, 2009.

- [89] M. R. Chertow, «INDUSTRIAL SYMBIOSIS: Literature and Taxonomy,» *Annu. Rev. Energy Environ.*, vol. 25, n° 1, p. 313–337, 2000.
- [90] C. Haskins, «Multidisciplinary investigation of Eco-Industrial Parks,» *Syst. Eng.*, vol. 9, n° 4, p. 313–330, 2006.
- [91] C. Haskins, «A systems engineering framework for eco-industrial park formation,» *Syst. Eng.*, vol. 10, n° 1, p. 83–97, 2007.
- [92] B. M. Sopha, A. M. Fet, M. M. Keitsch y C. Haskins, «Using Systems Engineering to Create a Framework for Evaluating Industrial Symbiosis Options,» *Syst. Eng.*, vol. 13, n° 2, pp. 149-160, 2010.
- [93] J. A. M. Eilering y W. J. V. Vermeulen, «Eco-industrial parks: toward industrial symbiosis and utility sharing in practice,» *Progress in Industrial Ecology, An International Journal*, vol. 1, n° 1/2/3, pp. 245-270, 2004.
- [94] W. Spekkink, «Institutional capacity building for industrial symbiosis in the Canal Zone of Zeeland in the Netherlands: a process analysis,» *J. Clean. Prod.*, vol. 52, p. 342–355, 2013.
- [95] W. Spekkink, «Building capacity for sustainable regional industrial systems: an event sequence analysis of developments in the Sloe Area and Canal Zone,» *J. Clean. Prod.*, vol. 98, pp. 133-144, 2015.
- [96] W. Ashton, «Understanding the organization of industrial ecosystems,» *J. Ind. Ecol.*, vol. 132, n° 9, p. 34–51, 2008.
- [97] Y. Zeng, R. Xiao y X. Li, «Vulnerability analysis of symbiosis networks of industrial ecology parks,» *Procedia Computer Science*, vol. 17, pp. 965-972, 2013.
- [98] C. Gu, S. Leveneur, L. Estel y A. Yassine, «Modeling and optimization of material/energy flow exchanges in an eco-industrial park,» *Energy Procedia*, vol. 36, pp. 243-252, 2013.

- [99] M. Maillé y J. M. Frayret, «Industrial By-Product Reuse and Synergy Optimization,» CIRRELT-2013-85, Montreal (Quebec), Canada, 2013.
- [100] F. SCHULZE, «Classification and development of mathematical models and simulation for industrial ecology,» University of Rhode Island, USA, 2014.
- [101] J. G. M. S. Monteiro, P. A. C. Silva, O. Q. F. Araújo y J. L. Medeiros, «Pareto optimization of an industrial ecosystem: Sustainability maximization,» *Brazilian J. Chem. Eng.*, vol. 27, n° 3, p. 429–440, 2010.
- [102] Secretaria de Energía, «Introducción al Quinquenio 1991-1995,» 07 07 2021. [En línea]. Available: <https://www.energia.gob.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3583>.
- [103] Secretaría de Energía, «Resolución 1146/2004 - MERCADO ELECTRONICO DE GAS,» 07 07 2021. [En línea]. Available: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/100000-104999/100885/norma.htm>.
- [104] A. Rocchi, E. Fernandez y J. Vega, «Estudio técnico-económico de generación fotovoltaica para cubrir excedentes de demanda eléctrica en el sector industrial de Rafaela,» de *edUTecNe, 2016 Libro Digital*, Bahía Blanca (Argentina), 2016.
- [105] A. Rocchi, E. Fernandez y J. Vega, «Sistema de desplazamiento de energía eléctrica por almacenamiento con aire comprimido a baja presión para el sector industrial,» de *Congreso Latinoamericano de Ingeniería (CLADI 2017)*, Entre Ríos (Argentina), 2017.
- [106] A. Rocchi, E. Fernandez y J. Vega, «Análisis de Viabilidad Técnico-Económico para Suministrar Gas Hidrógeno o su mezcla con Gas Natural, al Transporte Vehicular,» de *XIII COINI 2020, Congreso Internacional de Ingeniería Industrial*, Modalidad Virtual, 2020.
- [107] ICEDEL, «4to Censo Industrial de Rafaela,» Gobierno Municipal, Rafaela, 2018.

- [108] ENARGAS, «Norma de Calidad de Gas Natural (NAG-602),» Ente Nacional Regulador de Gas, Buenos Aires, 2019.
- [109] A. Pino Priego, «Aprovechamiento de recursos energéticos renovables no integrables en la red eléctrica. El caso de la producción de Hidrógeno.,» Escuela Técnica Superior, Universidad de Sevilla, España, 2009.
- [110] E. Wolf, «SEV Conference 100/2030 Siemens AG - PD LD HY – SILYZER 200 (PEM electrolysis system),» Alemania, 2016.
- [111] A. Rocchi y E. Fernandez, «Negotiation of Electricity Supply Capacities through a Double Auction Mechanism,» *IEEE ARGENCON - Programa: Potencia y Energía*, 2020.

8 Anexos.

8.1 Anexos I: Nomenclatura

Siglas Principales

| | |
|--------|---|
| AlgSD | Algoritmo de SD. |
| AlgACS | Algoritmo para asignar las fracciones de CS. |
| AlgMET | Algoritmo para mejorar la eficiencia de las transacciones. |
| AP | Alimentador principal. |
| APt | Agua potable. |
| CS | Capacidad de suministro. |
| EIP | Parque Eco-Industrial (Eco-Industrial Park) |
| EL | Energía eléctrica. |
| GN | Gas natural |
| IE | Ecología Industrial (Industrial Ecology) |
| IP | Parque Industrial (Industrial Park) |
| IS | Simbiosis Industrial (Industrial Symbiosis) |
| PAPYCS | Procedimiento de asignación de precios y de fracción de CS. |
| SD | Subasta doble. |
| SE | Servicio energético |
| SNE | Servicio no energético |
| TD, TO | Tablas de demanda y oferta. |

Variables

| | |
|-------------------|---|
| $b_{(q)}(j^c, t)$ | Precio ofrecido para la compra de CS por el participante j^c en su q -ésima oferta durante el período t . |
| $CS(j, t)$ | CS del participante j en el período t . |
| $CS(j, t, c)$ | CS del participante j en el ciclo c del período t . |
| $CS(t)$ | CS de la EDE a través del AP, en el período t . |
| $CSI(t)$ | CS inactiva, en el período t (Ec. (15)). |
| $CST(t)$ | CS total contratada a la EDE, en el período t . |
| $CSR(t)$ | CS remanente, en el período t . |
| c | Ciclo de ejecución del PAPYCS, con $c = 1, \dots, C(t)$. |
| i | Posición de la pareja vendedor-comprador (en la Tabla III). |
| j | Agente participante en la SD, con $j = 1, \dots, J$. |
| j^c, j^v | Agente participante como comprador o vendedor. |
| k | Número de transacciones posibles de compra-venta. |
| n | Industria n -ésima, con $n = 1, \dots, N < J$. |
| $P(j, t)$ | Potencia demandada por el participante j , en el período t . |
| $Pr_0(t, c)$ | Precio de Negociación, en el ciclo c del período t . |
| $Pr^D(j)$ | Índice económico para contratos dinámicos (Ec. (19)) |
| $Pr^E(j)$ | Índice económico para contratos estáticos (Ec. (20)) |
| $Pr(j, t)$ | Precio asignado al participante j en el período t . |
| $Pr(j, t, c)$ | Precio asignado al participante j en el ciclo c del período t . |
| $Pr(sb, t_0)$ | Precio asignado al <i>Subastador</i> correspondiente al período t_0 . |
| $Pr(sb, t, c)$ | Precio asignado al <i>Subastador</i> en el ciclo c del período t . |

| | |
|--------------------|--|
| $PT(t)$ | Potencia total demandada a la EDE, en el período t . |
| $s_{(w)}(j^v, t)$ | Precio ofrecido para la venta de CS por el participante j^v en su w -ésima oferta durante el período t . |
| $TD(j, t)$ | Tabla de Demanda, del participante j en el período t . |
| $TO(j, t)$ | Tabla de Oferta, del participante j en el período t . |
| t, t_0 | Período de tiempo de análisis (t) siguiente al período actual (t_0). |
| $u^c(j, t, c)$ | Número de veces que interviene el participante j como comprador (Tabla V), en el ciclo c del período t . |
| $u^v(j, t, c)$ | Número de veces que interviene el participante j como vendedor (Tabla V), en el ciclo c del período t . |
| $v(j)$ | Número total de participaciones de j^v (en la Tabla III). |
| $Xb_{(q)}(j^c, t)$ | Fracción de CS demandada por el participante j^c en su q -ésima oferta durante el período t . |
| $Xs_{(w)}(j^v, t)$ | Fracción de CS ofrecida por el participante j^v en su w -ésima oferta durante el período t . |
| $XP_{(i)}(t, c)$ | Fracción de CS promedio (posición i), en el ciclo c del período t . |

Vectores y Matrices

| | |
|----------------|--|
| \mathbf{M}_j | Matriz de las $XP_{(i)}(t, c)$ correspondientes al vendedor j . |
| \mathbf{r}_j | Vector diferencia calculado como: $vec\{\Delta CS(j, t, c)\} - \mathbf{s}_j$. |
| \mathbf{s}_j | Vector que contiene las sumas de las filas de \mathbf{M}_j . |

Variables Griegas

| | |
|--------------------------|---|
| $\Delta CS(j, t, c)$ | Variación de CS, del participante j en el ciclo c del período t . |
| $\Delta CS^c(j^c, t, c)$ | Variación promedio de CS, de j^c en el ciclo c del período t . |
| $\Delta CS^v(j^v, t, c)$ | Variación promedio de CS, de j^v en el ciclo c del período t . |

Supra-índices y Sub-índices

| | |
|--------|--|
| c, v | Comprador y vendedor, respectivamente. |
| (ac) | Acumulado en todos los períodos. |

8.2 Anexos II: Tablas de resultados numéricos correspondientes a las negociaciones del IP del Capítulo 5

TABLA II.I: $P(j,t)$ Y $CS(j,t,C(t))$ EN [kW], POR PARTICIPANTE j EN EL PERÍODO t

| t | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $P(1,t)$ | 141,49 | 152,14 | 100,69 | 130,40 | 173,65 | 130,18 | 171,88 | 191,10 | 231,31 | 297,46 | 314,88 |
| $CS(1,t,1)$ | 315,00 | 315,00 | 315,00 | 315,00 | 315,00 | 315,00 | 315,00 | 315,00 | 315,00 | 315,00 | 315,00 |
| $P(2,t)$ | 207,18 | 167,88 | 153,81 | 158,19 | 124,54 | 185,10 | 207,04 | 183,05 | 167,14 | 229,65 | 161,79 |
| $CS(2,t,1)$ | 234,00 | 234,00 | 234,00 | 234,00 | 234,00 | 234,00 | 234,00 | 234,00 | 234,00 | 234,00 | 234,00 |
| $P(3,t)$ | 262,50 | 175,40 | 216,53 | 217,74 | 226,21 | 180,24 | 272,18 | 194,49 | 215,32 | 353,75 | 256,25 |
| $CS(3,t,1)$ | 355,00 | 355,00 | 355,00 | 355,00 | 355,00 | 355,00 | 355,00 | 355,00 | 355,00 | 355,00 | 355,00 |
| $P(4,t)$ | 137,20 | 147,53 | 97,63 | 126,45 | 168,39 | 126,24 | 166,67 | 185,31 | 224,30 | 288,44 | 305,33 |
| $CS(4,t,1)$ | 306,00 | 306,00 | 306,00 | 306,00 | 306,00 | 306,00 | 306,00 | 306,00 | 306,00 | 306,00 | 306,00 |
| $P(5,t)$ | 345,30 | 279,81 | 256,35 | 263,64 | 207,56 | 308,50 | 345,06 | 305,08 | 278,56 | 382,74 | 269,65 |
| $CS(5,t,1)$ | 390,00 | 390,00 | 390,00 | 390,00 | 390,00 | 390,00 | 390,00 | 390,00 | 390,00 | 390,00 | 390,00 |
| $P(6,t)$ | 262,50 | 175,40 | 216,53 | 217,74 | 226,21 | 180,24 | 272,18 | 194,49 | 215,32 | 353,75 | 256,25 |
| $CS(6,t,1)$ | 355,00 | 355,00 | 355,00 | 355,00 | 355,00 | 355,00 | 355,00 | 355,00 | 355,00 | 355,00 | 355,00 |
| $P(7,t)$ | 994,30 | 994,30 | 994,30 | 994,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 250,00 | 250,00 |
| $CS(7,t,1)$ | 995,00 | 995,00 | 995,00 | 995,00 | 995,00 | 995,00 | 995,00 | 995,00 | 995,00 | 995,00 | 995,00 |
| $P(8,t)$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 62,50 | 125,00 | 187,50 | 250,00 | 187,50 |
| $CS(8,t,1)$ | 250,00 | 250,00 | 250,00 | 250,00 | 250,00 | 250,00 | 250,00 | 250,00 | 250,00 | 250,00 | 250,00 |
| $P(9,t)$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1.250,00 | 1.250,00 | 1.250,00 | 1.250,00 | 1.250,00 | 1.250,00 | 1.250,00 |
| $CS(9,t,1)$ | 1.250,00 | 1.250,00 | 1.250,00 | 1.250,00 | 1.250,00 | 1.250,00 | 1.250,00 | 1.250,00 | 1.250,00 | 1.250,00 | 1.250,00 |
| PT(t) | 2.350,47 | 2.092,46 | 2.035,85 | 2.108,47 | 2.376,55 | 2.360,50 | 2.747,49 | 2.628,53 | 2.769,46 | 3.655,79 | 3.251,65 |
| CST(t) | 4.450,00 | 4.450,00 | 4.450,00 | 4.450,00 | 4.450,00 | 4.450,00 | 4.450,00 | 4.450,00 | 4.450,00 | 4.450,00 | 4.450,00 |

| 16 | 15 | 14 | 13 | 12 |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| 49,11 | 240,00 | 237,94 | 146,67 | 211,52 |
| 315,00 | 315,00 | 315,00 | 315,00 | 315,00 |
| 208,33 | 191,31 | 233,16 | 184,88 | 160,44 |
| 234,00 | 234,00 | 234,00 | 234,00 | 234,00 |
| 286,90 | 250,00 | 246,61 | 230,95 | 193,75 |
| 355,00 | 355,00 | 355,00 | 355,00 | 355,00 |
| 47,62 | 234,44 | 230,73 | 142,22 | 205,11 |
| 306,00 | 306,00 | 306,00 | 306,00 | 306,00 |
| 347,22 | 318,85 | 388,59 | 308,13 | 267,40 |
| 390,00 | 390,00 | 390,00 | 390,00 | 390,00 |
| 286,90 | 250,00 | 246,61 | 230,95 | 193,75 |
| 355,00 | 355,00 | 355,00 | 355,00 | 355,00 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 250,00 | 250,00 |
| 995,00 | 995,00 | 995,00 | 995,00 | 995,00 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 62,50 | 125,00 |
| 250,00 | 250,00 | 250,00 | 250,00 | 250,00 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1.250,00 | 1.250,00 |
| 1.250,00 | 1.250,00 | 1.250,00 | 1.250,00 | 1.250,00 |
| 1.226,09 | 1.484,61 | 1.583,65 | 2.806,31 | 2.856,97 |
| 4.450,00 | 4.450,00 | 4.450,00 | 4.450,00 | 4.450,00 |

TABLA II.II: $CS(j,t,C(t))$ EN [kW], POR PARTICIPANTE j EN EL PERÍODO t , PARA EL

| | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | T |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------|
| | 1 | 9 | 15 | 3 | 2 | 6 | 2 | 46 | 1 | 3 | 4 | 37 | $C(t)$ |
| | 230,00 | 315,00 | 305,00 | 240,00 | 200,00 | 175,00 | 140,00 | 180,00 | 140,00 | 120,00 | 155,00 | 150,00 | $CS(1,t,C(t))$ |
| | 170,00 | 170,00 | 235,00 | 175,00 | 200,00 | 210,00 | 205,00 | 125,00 | 170,00 | 170,00 | 170,00 | 210,00 | $CS(2,t,C(t))$ |
| | 215,00 | 265,00 | 355,00 | 235,00 | 195,00 | 280,00 | 215,00 | 240,00 | 240,00 | 260,00 | 190,00 | 265,00 | $CS(3,t,C(t))$ |
| | 320,00 | 320,00 | 305,00 | 255,00 | 200,00 | 175,00 | 175,00 | 175,00 | 140,00 | 140,00 | 160,00 | 160,00 | $CS(4,t,C(t))$ |
| | 270,00 | 270,00 | 390,00 | 290,00 | 315,00 | 355,00 | 325,00 | 245,00 | 300,00 | 300,00 | 300,00 | 360,00 | $CS(5,t,C(t))$ |
| | 365,00 | 365,00 | 365,00 | 225,00 | 265,00 | 290,00 | 230,00 | 230,00 | 230,00 | 230,00 | 280,00 | 280,00 | $CS(6,t,C(t))$ |
| | 250,00 | 250,00 | 250,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 15,00 | 995,00 | 995,00 | 995,00 | 995,00 | $CS(7,t,C(t))$ |
| | 135,00 | 195,00 | 255,00 | 190,00 | 135,00 | 75,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | $CS(8,t,C(t))$ |
| | 1.250,00 | 1.250,00 | 1.250,00 | 1.250,00 | 1.250,00 | 1.250,00 | 1.285,00 | 1.285,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | $CS(9,t,C(t))$ |
| | -3.205,00 | -3.400,00 | -3.710,00 | -2.865,00 | -2.765,00 | -2.815,00 | -2.580,00 | -2.495,00 | -2.215,00 | -2.215,00 | -2.250,00 | -2.420,00 | $CS(10,t,C(t))$ |

| 16 | 15 | 14 | 13 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 6 | 7 | 32 | 4 |
| 50,00 | 240,00 | 240,00 | 150,00 |
| 210,00 | 195,00 | 235,00 | 185,00 |
| 295,00 | 270,00 | 270,00 | 245,00 |
| 50,00 | 255,00 | 255,00 | 295,00 |
| 370,00 | 320,00 | 420,00 | 310,00 |
| 330,00 | 355,00 | 355,00 | 365,00 |
| 10,00 | 10,00 | 10,00 | 250,00 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 80,00 |
| 25,00 | 25,00 | 25,00 | 1.250,00 |
| -1.340,00 | -1.670,00 | -1.810,00 | -3.130,00 |

TABLA II.III: $PR(j,t,C(t))$ EN $[\$a]$, POR PARTICIPANTE j EN EL PERÍODO t , PARA EL

| | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 | 100 | t |
|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|---------------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | $C(t)$ |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | $(1,t,C(t))$ |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | $(2,t,C(t))$ |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | $(3,t,C(t))$ |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | $(4,t,C(t))$ |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | $(5,t,C(t))$ |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | $(6,t,C(t))$ |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | $(7,t,C(t))$ |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | $(8,t,C(t))$ |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | $(9,t,C(t))$ |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | $(10,t,C(t))$ |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | $(sb,t,C(t))$ |

| 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 |
|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 6 | 7 | 32 | 4 | 1 | 9 |
| -44,85 | -66,45 | -66,45 | -55,15 | -66,55 | -73,25 |
| -53,35 | -47,50 | -54,60 | -52,45 | -53,00 | -53,00 |
| -89,33 | -85,13 | -85,13 | -79,48 | -70,13 | -73,48 |
| -33,68 | -48,95 | -48,95 | -53,40 | -57,20 | -57,20 |
| -75,45 | -67,70 | -75,10 | -52,50 | -43,90 | -43,90 |
| -90,23 | -94,10 | -94,10 | -98,55 | -98,55 | -98,55 |
| -56,95 | -56,95 | -56,95 | -88,50 | -88,50 | -88,50 |
| -28,28 | -28,28 | -28,28 | -37,18 | -44,78 | -48,13 |
| -82,75 | -82,75 | -82,75 | -194,20 | -194,20 | -194,20 |
| 383,58 | 407,13 | 422,23 | 556,13 | 569,83 | 583,83 |
| 171,28 | 170,68 | 170,08 | 155,28 | 146,98 | 146,38 |

TABLA II.IV: $Q_{GN}(j,t)$ Y $CS(j,t,C(t))$ EN [Nm³/h], POR PARTICIPANTE j EN EL PERÍODO t

| T | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | $Q_{GN}(1,t)$ | $CS(1,t,1)$ | $Q_{GN}(2,t)$ | $CS(2,t,1)$ | $Q_{GN}(3,t)$ | $CS(3,t,1)$ | $Q_{GN}(4,t)$ | $CS(4,t,1)$ | $Q_{GN}(5,t)$ | $CS(5,t,1)$ | $Q_{GN}(6,t)$ | $CS(6,t,1)$ | $Q_{GN}(7,t)$ | $CS(7,t,1)$ | $Q_{GN}(8,t)$ | $CS(8,t,1)$ | $Q_{GN}(9,t)$ | $CS(9,t,1)$ | $QT_{GN}(t)$ | $CST(t)$ | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|--------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | 12,09 | 13,00 | 8,61 | 11,15 | 14,84 | 11,13 | 14,69 | 16,33 | 19,77 | 25,42 | 26,91 | 18,08 | 12,54 | 20,34 | $Q_{GN}(1,t)$ | $CS(1,t,1)$ | 27,00 | 27,00 | 27,00 | 27,00 | 27,00 | 27,00 | 27,00 | 27,00 | 27,00 | 27,00 | 27,00 | 27,00 | 27,00 | 27,00 | 27,00 | 27,00 | 27,00 | 27,00 | | | | | | |
| | 17,71 | 14,35 | 13,15 | 13,52 | 10,64 | 15,82 | 17,70 | 15,65 | 14,29 | 19,63 | 13,83 | 13,71 | 15,80 | 19,93 | $Q_{GN}(2,t)$ | $CS(2,t,1)$ | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | | | | |
| | 22,44 | 20,00 | 20,00 | 18,61 | 19,33 | 15,41 | 23,26 | 16,62 | 18,40 | 30,24 | 21,90 | 16,56 | 19,74 | 21,08 | $Q_{GN}(3,t)$ | $CS(3,t,1)$ | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | | | |
| | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | $Q_{GN}(4,t)$ | $CS(4,t,1)$ | 11,73 | 12,61 | 8,34 | 10,81 | 14,39 | 10,79 | 26,50 | 26,50 | 26,50 | 26,50 | 26,50 | 26,50 | 26,50 | 26,50 | 26,50 | 26,50 | 26,50 | 26,50 | 26,50 | 26,50 | 26,50 | 26,50 | 26,50 | |
| | 29,51 | 23,91 | 21,91 | 22,53 | 17,74 | 26,37 | 29,49 | 26,08 | 23,81 | 32,71 | 23,05 | 22,85 | 26,34 | 33,21 | $Q_{GN}(5,t)$ | $CS(5,t,1)$ | 33,50 | 33,50 | 33,50 | 33,50 | 33,50 | 33,50 | 33,50 | 33,50 | 33,50 | 33,50 | 33,50 | 33,50 | 33,50 | 33,50 | 33,50 | 33,50 | 33,50 | 33,50 | 33,50 | 33,50 | 33,50 | 33,50 | | |
| | 33,50 | 33,50 | 33,50 | 33,50 | 33,50 | 33,50 | 33,50 | 33,50 | 33,50 | 33,50 | 33,50 | 33,50 | 33,50 | 33,50 | $Q_{GN}(6,t)$ | $CS(6,t,1)$ | 22,44 | 14,99 | 18,51 | 18,61 | 19,33 | 15,41 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 | 30,50 |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | $Q_{GN}(7,t)$ | $CS(7,t,1)$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | $Q_{GN}(8,t)$ | $CS(8,t,1)$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | $Q_{GN}(9,t)$ | $CS(9,t,1)$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 115,91 | 93,86 | 89,02 | 95,23 | 96,29 | 94,91 | 122,65 | 107,14 | 113,84 | 162,89 | 133,69 | 105,30 | 106,31 | 135,35 | $QT_{GN}(t)$ | $CS(9,t,1)$ | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | |
| | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | $CST(t)$ | $CST(t)$ | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | 168,00 | | |

| 16 | 15 |
|--------|--------|
| 4,20 | 20,66 |
| 27,00 | 27,00 |
| 17,81 | 16,35 |
| 20,00 | 20,00 |
| 24,52 | 21,37 |
| 30,50 | 30,50 |
| 4,07 | 20,04 |
| 26,50 | 26,50 |
| 29,68 | 27,25 |
| 33,50 | 33,50 |
| 24,52 | 21,37 |
| 30,50 | 30,50 |
| 0,00 | 0,00 |
| 0,00 | 0,00 |
| 0,00 | 0,00 |
| 0,00 | 0,00 |
| 0,00 | 0,00 |
| 0,00 | 0,00 |
| 104,79 | 127,04 |
| 168,00 | 168,00 |

TABLA II.V: $CS(j,t,C(t))$ EN $[Nm^3/h]$, POR PARTICIPANTE j EN EL PERÍODO t , PARA GN

| | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | t |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|-----------------|
| | 10 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 2 | 5 | 2 | 22 | $C(t)$ |
| | 25,50 | 21,00 | 17,00 | 15,00 | 12,00 | 15,00 | 11,50 | 9,50 | 13,00 | 12,50 | $CS(1,t,C(t))$ |
| | 20,00 | 14,50 | 16,50 | 18,00 | 17,50 | 11,50 | 14,00 | 14,00 | 16,00 | 18,50 | $CS(2,t,C(t))$ |
| | 31,00 | 19,00 | 17,50 | 23,50 | 16,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 18,50 | 22,50 | $CS(3,t,C(t))$ |
| | 25,50 | 20,50 | 16,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 11,50 | 12,50 | 18,50 | 12,50 | $CS(4,t,C(t))$ |
| | 33,50 | 27,50 | 27,50 | 30,50 | 27,50 | 18,50 | 24,00 | 24,00 | 30,00 | 30,00 | $CS(5,t,C(t))$ |
| | 32,00 | 21,00 | 25,00 | 25,00 | 19,50 | 19,50 | 19,50 | 20,50 | 23,00 | 23,00 | $CS(6,t,C(t))$ |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | $CS(7,t,C(t))$ |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | $CS(8,t,C(t))$ |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | $CS(9,t,C(t))$ |
| | -167,50 | -123,50 | -119,50 | -127,00 | -107,50 | -99,50 | -100,50 | -100,50 | -119,00 | -119,00 | $CS(11,t,C(t))$ |

| | | | | | |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 |
| 11 | 2 | 7 | 2 | 5 | 2 |
| 4,50 | 22,00 | 20,50 | 13,00 | 18,50 | 28,00 |
| 18,50 | 17,00 | 20,50 | 17,00 | 14,00 | 17,50 |
| 25,00 | 22,00 | 22,00 | 22,00 | 18,00 | 27,00 |
| 5,50 | 23,50 | 20,00 | 17,50 | 21,50 | 31,50 |
| 30,00 | 28,00 | 33,50 | 27,50 | 24,50 | 33,50 |
| 25,00 | 22,00 | 22,00 | 26,50 | 32,00 | 32,00 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| -108,50 | -134,50 | -138,50 | -123,50 | -128,50 | -169,50 |

TABLA II.VI: $PR(j,t,C(t))$ EN [\\$a], POR PARTICIPANTE j EN EL PERÍODO t , PARA GN

| | t | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| $C(t)$ | 22 | 2 | 5 | 2 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 10 | 2 | 5 | 2 | 7 |
| $(1,t,C(t))$ | -25,00 | -29,70 | -26,50 | -36,10 | -38,40 | -34,90 | -41,90 | -42,15 | -50,80 | -59,80 | -67,70 | -61,30 | -56,48 | -66,48 |
| $(2,t,C(t))$ | -56,00 | -48,70 | -45,05 | -45,05 | -37,55 | -38,75 | -41,65 | -38,00 | -30,25 | -45,05 | -37,75 | -34,10 | -37,63 | -46,93 |
| $(3,t,C(t))$ | -38,35 | -34,70 | -40,20 | -40,20 | -40,20 | -36,55 | -48,35 | -40,90 | -47,78 | -67,88 | -64,23 | -57,23 | -62,05 | -62,05 |
| $(4,t,C(t))$ | -21,65 | -29,05 | -20,60 | -15,80 | -20,60 | -20,60 | -20,60 | -24,20 | -27,90 | -39,30 | -46,70 | -39,10 | -34,28 | -41,38 |
| $(5,t,C(t))$ | -41,65 | -41,65 | -34,05 | -34,05 | -30,30 | -44,70 | -49,50 | -45,70 | -45,70 | -56,25 | -56,25 | -44,85 | -49,68 | -53,08 |
| $(6,t,C(t))$ | -55,10 | -55,10 | -50,45 | -45,65 | -45,65 | -45,65 | -60,05 | -60,05 | -55,95 | -81,55 | -81,55 | -81,55 | -76,73 | -63,83 |
| $(7,t,C(t))$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $(8,t,C(t))$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $(9,t,C(t))$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $(11,t,C(t))$ | 215,35 | 216,25 | 193,05 | 193,05 | 186,20 | 191,70 | 227,90 | 216,05 | 220,83 | 302,13 | 306,23 | 268,63 | 266,28 | 277,08 |
| $(sb,t,C(t))$ | 22,40 | 22,65 | 23,80 | 23,80 | 26,50 | 29,45 | 34,15 | 34,95 | 37,55 | 47,70 | 47,95 | 49,50 | 50,55 | 56,65 |

| | | |
|--------|--------|--|
| 16 | 15 | |
| 11 | 2 | |
| -38,73 | -66,93 | |
| -52,08 | -43,03 | |
| -68,65 | -62,05 | |
| 1,82 | -45,28 | |
| -57,68 | -49,18 | |
| -69,13 | -63,83 | |
| 0,00 | 0,00 | |
| 0,00 | 0,00 | |
| 0,00 | 0,00 | |
| 222,38 | 272,88 | |
| 62,05 | 57,40 | |

TABLA II.VII: $Q_{AP_i}(j,t)$ Y $CS(j,t,C(t))$ EN [l/h], POR PARTICIPANTE j EN EL PERÍODO t

| | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | t |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------|
| | 3.148,75 | 2.974,58 | 2.313,10 | 1.911,02 | 1.718,75 | 1.301,81 | 1.736,49 | 1.304,03 | 1.006,85 | 1.521,37 | 1.414,92 | $Q_{AP_i}(1,t)$ |
| | 3.150,00 | 3.150,00 | 3.150,00 | 3.150,00 | 3.150,00 | 3.150,00 | 3.150,00 | 3.150,00 | 3.150,00 | 3.150,00 | 3.150,00 | $CS(1,t,1)$ |
| | 1.617,92 | 2.296,46 | 1.671,37 | 1.830,51 | 2.070,36 | 1.851,01 | 1.245,36 | 1.581,85 | 1.538,10 | 1.678,83 | 2.071,77 | $Q_{AP_i}(2,t)$ |
| | 2.350,00 | 2.350,00 | 2.350,00 | 2.350,00 | 2.350,00 | 2.350,00 | 2.350,00 | 2.350,00 | 2.350,00 | 2.350,00 | 2.350,00 | $CS(2,t,1)$ |
| | 2.562,50 | 3.537,50 | 2.153,23 | 1.944,92 | 2.721,77 | 1.802,42 | 2.262,10 | 2.177,42 | 2.165,32 | 1.754,03 | 2.625,00 | $Q_{AP_i}(3,t)$ |
| | 3.550,00 | 3.550,00 | 3.550,00 | 3.550,00 | 3.550,00 | 3.550,00 | 3.550,00 | 3.550,00 | 3.550,00 | 3.550,00 | 3.550,00 | $CS(3,t,1)$ |
| | 3.053,33 | 2.884,44 | 2.243,01 | 1.853,11 | 1.666,67 | 1.262,37 | 1.683,87 | 1.264,52 | 976,34 | 1.475,27 | 1.372,04 | $Q_{AP_i}(4,t)$ |
| | 3.100,00 | 3.100,00 | 3.100,00 | 3.100,00 | 3.100,00 | 3.100,00 | 3.100,00 | 3.100,00 | 3.100,00 | 3.100,00 | 3.100,00 | $CS(4,t,1)$ |
| | 2.696,53 | 3.827,43 | 2.785,62 | 3.050,85 | 3.450,60 | 3.085,01 | 2.075,60 | 2.636,42 | 2.563,51 | 2.798,05 | 3.452,96 | $Q_{AP_i}(5,t)$ |
| | 3.900,00 | 3.900,00 | 3.900,00 | 3.900,00 | 3.900,00 | 3.900,00 | 3.900,00 | 3.900,00 | 3.900,00 | 3.900,00 | 3.900,00 | $CS(5,t,1)$ |
| | 2.562,50 | 3.537,50 | 2.153,23 | 1.944,92 | 2.721,77 | 1.802,42 | 2.262,10 | 2.177,42 | 2.165,32 | 1.754,03 | 2.625,00 | $Q_{AP_i}(6,t)$ |
| | 3.550,00 | 3.550,00 | 3.550,00 | 3.550,00 | 3.550,00 | 3.550,00 | 3.550,00 | 3.550,00 | 3.550,00 | 3.550,00 | 3.550,00 | $CS(6,t,1)$ |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | $Q_{AP_i}(7,t)$ |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | $CS(7,t,1)$ |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | $Q_{AP_i}(8,t)$ |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | $CS(8,t,1)$ |
| | 337,50 | 337,50 | 337,50 | 337,50 | 337,50 | 337,50 | 337,50 | 337,50 | 337,50 | 337,50 | 337,50 | $Q_{AP_i}(9,t)$ |
| | 350,00 | 350,00 | 350,00 | 350,00 | 350,00 | 350,00 | 350,00 | 350,00 | 350,00 | 350,00 | 350,00 | $CS(9,t,1)$ |
| | 15.979,03 | 19.395,42 | 13.657,06 | 12.872,81 | 14.687,43 | 11.442,54 | 11.603,02 | 11.141,67 | 10.415,46 | 10.981,59 | 13.561,69 | $QT_{AP}(t)$ |
| | 19.950,00 | 19.950,00 | 19.950,00 | 19.950,00 | 19.950,00 | 19.950,00 | 19.950,00 | 19.950,00 | 19.950,00 | 19.950,00 | 19.950,00 | $CST(t)$ |

| 16 | 15 | 14 | 13 | 12 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 491,07 | 2.417,71 | 2.379,45 | 1.466,67 | 2.115,21 |
| 3.150,00 | 3.150,00 | 3.150,00 | 3.150,00 | 3.150,00 |
| 2.083,33 | 1.913,13 | 2.331,57 | 1.848,81 | 1.604,38 |
| 2.350,00 | 2.350,00 | 2.350,00 | 2.350,00 | 2.350,00 |
| 2.869,05 | 2.500,00 | 2.466,10 | 2.309,52 | 1.937,50 |
| 3.550,00 | 3.550,00 | 3.550,00 | 3.550,00 | 3.550,00 |
| 476,19 | 2.344,44 | 2.307,34 | 1.422,22 | 2.051,11 |
| 3.100,00 | 3.100,00 | 3.100,00 | 3.100,00 | 3.100,00 |
| 3.472,22 | 3.188,54 | 3.885,95 | 3.081,35 | 2.673,96 |
| 3.900,00 | 3.900,00 | 3.900,00 | 3.900,00 | 3.900,00 |
| 2.869,05 | 2.500,00 | 2.466,10 | 2.309,52 | 1.937,50 |
| 3.550,00 | 3.550,00 | 3.550,00 | 3.550,00 | 3.550,00 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 337,50 | 337,50 |
| 350,00 | 350,00 | 350,00 | 350,00 | 350,00 |
| 12.260,91 | 14.863,82 | 15.836,51 | 12.775,60 | 12.657,15 |
| 19.950,00 | 19.950,00 | 19.950,00 | 19.950,00 | 19.950,00 |

TABLA II.VIII: $CS(j,t,C(t))$ EN [1/h], POR PARTICIPANTE j EN EL PERÍODO t , PARA APT

| | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | t |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------------|
| | 60 | 36 | 12 | 27 | 24 | 21 | 8 | 8 | 16 | 125 | $C(t)$ |
| | 2.983,50 | 2.320,50 | 1.921,00 | 1.734,00 | 1.309,00 | 1.751,00 | 1.317,50 | 1.028,50 | 1.521,50 | 1.428,00 | $CS(1,t,C(t))$ |
| | 2.312,00 | 1.674,50 | 1.861,50 | 2.074,00 | 1.853,00 | 1.249,50 | 1.589,50 | 1.589,50 | 1.683,00 | 2.074,00 | $CS(2,t,C(t))$ |
| | 3.553,00 | 2.159,00 | 1.980,50 | 2.728,50 | 1.810,50 | 2.269,50 | 2.210,00 | 2.176,00 | 1.785,00 | 2.626,50 | $CS(3,t,C(t))$ |
| | 2.898,50 | 2.244,00 | 1.861,50 | 1.691,50 | 1.283,50 | 1.691,50 | 1.283,50 | 1.411,00 | 1.496,00 | 1.394,00 | $CS(4,t,C(t))$ |
| | 3.850,50 | 2.796,50 | 3.451,00 | 3.451,00 | 3.094,00 | 2.091,00 | 2.677,50 | 2.822,00 | 2.822,00 | 3.485,00 | $CS(5,t,C(t))$ |
| | 3.544,50 | 2.159,00 | 2.737,00 | 2.737,00 | 2.193,00 | 2.278,00 | 2.278,00 | 2.431,00 | 2.643,50 | 2.643,50 | $CS(6,t,C(t))$ |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | $CS(7,t,C(t))$ |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | $CS(8,t,C(t))$ |
| | 348,50 | 348,50 | 348,50 | 348,50 | 348,50 | 348,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | $CS(9,t,C(t))$ |
| | -19.490,50 | -13.702,00 | -14.161,00 | -14.764,50 | -11.891,50 | -11.679,00 | -11.356,00 | -11.458,00 | -11.951,00 | -13.651,00 | $CS(12,t,C(t))$ |

| | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 |
| 13 | 4 | 37 | 73 | 6 | 11 |
| 518,50 | 2.448,00 | 2.380,00 | 1.479,00 | 2.133,50 | 3.170,50 |
| 2.133,50 | 1.955,00 | 2.346,00 | 1.853,00 | 1.623,50 | 1.623,50 |
| 2.983,50 | 2.575,50 | 2.473,50 | 2.320,50 | 2.023,00 | 2.618,00 |
| 2.303,50 | 2.371,50 | 2.337,50 | 1.436,50 | 3.068,50 | 3.068,50 |
| 3.842,00 | 3.859,00 | 3.893,00 | 3.085,50 | 3.850,50 | 3.850,50 |
| 2.915,50 | 2.550,00 | 2.482,00 | 2.312,00 | 3.544,50 | 3.544,50 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 8,50 | 8,50 | 8,50 | 348,50 | 348,50 | 348,50 |
| -14.705,00 | -15.767,50 | -15.920,50 | -12.835,00 | -16.592,00 | -18.224,00 |

TABLA II.IX: $PR(j,t,C(t))$ EN [\\$a], POR PARTICIPANTE j EN EL PERÍODO t , PARA APt

| | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | t |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------|
| | 60 | 36 | 12 | 27 | 24 | 21 | 8 | 8 | 16 | 125 | $C(t)$ |
| | -407,05 | -316,05 | -291,75 | -281,95 | -219,00 | -257,50 | -225,30 | -180,60 | -204,40 | -196,00 | $(1,t,C(t))$ |
| | -382,50 | -274,70 | -294,50 | -309,10 | -265,10 | -245,90 | -285,15 | -285,15 | -289,80 | -310,80 | $(2,t,C(t))$ |
| | -468,75 | -326,65 | -312,55 | -352,70 | -257,80 | -283,30 | -284,10 | -278,30 | -227,15 | -279,45 | $(3,t,C(t))$ |
| | -309,00 | -233,65 | -190,80 | -176,00 | -130,80 | -172,80 | -131,80 | -140,60 | -163,85 | -156,45 | $(4,t,C(t))$ |
| | -334,60 | -234,00 | -299,90 | -299,90 | -266,30 | -176,30 | -241,45 | -254,05 | -254,05 | -303,45 | $(5,t,C(t))$ |
| | -536,85 | -331,75 | -423,90 | -423,90 | -340,20 | -344,20 | -344,20 | -373,20 | -396,45 | -396,45 | $(6,t,C(t))$ |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | $(7,t,C(t))$ |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | $(8,t,C(t))$ |
| | -32,55 | -32,55 | -32,55 | -32,55 | -32,55 | -32,55 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | $(9,t,C(t))$ |
| | 2.121,70 | 1.471,00 | 1.597,00 | 1.633,70 | 1.304,40 | 1.333,90 | 1.360,95 | 1.362,95 | 1.387,45 | 1.500,15 | $(12,t,C(t))$ |
| | 349,60 | 278,35 | 248,95 | 242,40 | 207,35 | 178,65 | 151,05 | 148,95 | 148,25 | 142,45 | $(sb,t,C(t))$ |

| 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 13 | 4 | 37 | 73 | 6 | 11 |
| -337,45 | -450,65 | -431,65 | -329,15 | -365,65 | -416,85 |
| -389,80 | -376,60 | -416,60 | -367,20 | -352,35 | -352,35 |
| -539,30 | -511,80 | -493,80 | -459,90 | -418,05 | -434,05 |
| -275,45 | -280,35 | -269,75 | -173,05 | -323,80 | -323,80 |
| -319,15 | -324,05 | -334,05 | -257,80 | -334,60 | -334,60 |
| -415,00 | -379,70 | -369,10 | -324,50 | -536,85 | -536,85 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 49,15 | 49,15 | 49,15 | -32,55 | -32,55 | -32,55 |
| 1.714,25 | 1.765,25 | 1.761,25 | 1.507,45 | 2.011,55 | 2.078,75 |
| 512,75 | 508,75 | 504,55 | 436,70 | 352,30 | 352,30 |

TABLA II.X: SUBASTADOR - TABLA RESUMEN: P_o, CSI, CSR (PARTE 1)

| <i>t</i> | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| CS(1, <i>t</i>) | 150,00 | 155,00 | 120,00 | 140,00 | 180,00 | 140,00 | 175,00 | 200,00 |
| | 12,50 | 13,00 | 9,50 | 11,50 | 15,00 | 12,00 | 15,00 | 17,00 |
| | 1.428,00 | 1.521,50 | 1.028,50 | 1.317,50 | 1.751,00 | 1.309,00 | 1.374,00 | 1.921,00 |
| CSI(1, <i>t</i>) | 8,51 | 2,86 | 19,31 | 9,60 | 6,35 | 9,82 | 3,13 | 8,90 |
| | 0,41 | 0,00 | 0,89 | 0,35 | 0,16 | 0,87 | 0,31 | 0,67 |
| | 13,08 | 0,13 | 21,65 | 13,47 | 14,51 | 7,19 | 15,25 | 9,98 |
| CS(2, <i>t</i>) | 210,00 | 170,00 | 170,00 | 170,00 | 125,00 | 205,00 | 210,00 | 200,00 |
| | 18,50 | 16,00 | 14,00 | 14,00 | 11,50 | 17,50 | 18,00 | 16,50 |
| | 2.074,00 | 1.683,00 | 1.589,50 | 1.589,50 | 1.249,50 | 1.853,00 | 2.074,00 | 1.861,50 |
| CSI(2, <i>t</i>) | 2,82 | 2,12 | 16,19 | 11,81 | 0,46 | 19,90 | 2,96 | 16,95 |
| | 0,79 | 1,65 | 0,85 | 0,48 | 0,86 | 1,68 | 0,30 | 0,85 |
| | 2,23 | 4,17 | 51,40 | 7,65 | 4,14 | 1,99 | 3,64 | 30,99 |
| CS(3, <i>t</i>) | 265,00 | 190,00 | 260,00 | 240,00 | 240,00 | 215,00 | 280,00 | 195,00 |
| | 22,50 | 18,50 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 16,00 | 23,50 | 17,50 |
| | 2.626,50 | 1.785,00 | 2.176,00 | 2.210,00 | 2.269,50 | 1.810,50 | 2.728,50 | 1.980,50 |
| CSI(3, <i>t</i>) | 2,50 | 14,60 | 43,47 | 22,26 | 13,79 | 34,76 | 7,82 | 0,51 |
| | 0,06 | 3,51 | 1,49 | 1,39 | 0,67 | 0,59 | 0,24 | 0,88 |
| | 1,50 | 30,97 | 10,68 | 32,58 | 7,40 | 8,08 | 6,73 | 35,58 |
| CS(4, <i>t</i>) | 160,00 | 160,00 | 140,00 | 140,00 | 175,00 | 175,00 | 175,00 | 200,00 |
| | 12,50 | 18,50 | 12,50 | 11,50 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 16,00 |
| | 1.394,00 | 1.496,00 | 1.411,00 | 1.283,50 | 1.691,50 | 1.283,50 | 1.691,50 | 1.861,50 |
| CSI(4, <i>t</i>) | 22,80 | 12,47 | 42,37 | 13,55 | 6,61 | 48,76 | 8,33 | 14,69 |
| | 0,77 | 5,89 | 4,16 | 0,69 | 0,61 | 4,21 | 0,75 | 0,16 |
| | 21,96 | 20,73 | 434,66 | 18,98 | 7,63 | 21,13 | 24,83 | 8,39 |
| CS(5, <i>t</i>) | 360,00 | 300,00 | 300,00 | 300,00 | 245,00 | 325,00 | 355,00 | 315,00 |
| | 30,00 | 30,00 | 24,00 | 24,00 | 18,50 | 27,50 | 30,50 | 27,50 |
| | 3.485,00 | 2.822,00 | 2.822,00 | 2.677,50 | 2.091,00 | 3.094,00 | 3.451,00 | 3.451,00 |
| CSI(5, <i>t</i>) | 14,70 | 20,19 | 43,65 | 36,36 | 37,44 | 16,50 | 9,94 | 9,92 |
| | 0,49 | 6,09 | 2,09 | 1,47 | 0,76 | 1,13 | 1,01 | 1,42 |
| | 32,04 | 23,95 | 258,49 | 41,08 | 15,40 | 8,99 | 0,40 | 400,15 |
| CS(6, <i>t</i>) | 280,00 | 280,00 | 230,00 | 230,00 | 230,00 | 230,00 | 290,00 | 265,00 |
| | 23,00 | 23,00 | 20,50 | 19,50 | 19,50 | 19,50 | 25,00 | 25,00 |
| | 2.643,50 | 2.643,50 | 2.431,00 | 2.278,00 | 2.278,00 | 2.193,00 | 2.737,00 | 2.737,00 |
| CSI(6, <i>t</i>) | 17,50 | 104,60 | 13,47 | 12,26 | 3,79 | 49,76 | 17,82 | 70,51 |
| | 0,56 | 8,01 | 1,99 | 0,89 | 0,17 | 4,09 | 1,74 | 8,38 |
| | 18,50 | 889,47 | 265,68 | 100,58 | 15,90 | 390,58 | 15,23 | 792,08 |
| CS(7, <i>t</i>) | 995,00 | 995,00 | 995,00 | 995,00 | 15,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| CSI(7, <i>t</i>) | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 15,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| CS(8, <i>t</i>) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 75,00 | 135,00 |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

| | | | | | | | | |
|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 12,50 | 10,00 |
| CSI(8,t) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1.285,00 | 1.285,00 | 1.250,00 | 1.250,00 |
| CS(9,t) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 348,50 | 348,50 | 348,50 | 348,50 |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 35,00 | 35,00 | 0,00 | 0,00 |
| CSI(9,t) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,00 | 11,00 | 11,00 | 11,00 |
| CS(10,t) | -2.420,00 | -2.250,00 | -2.215,00 | -2.215,00 | -2.495,00 | -2.580,00 | -2.815,00 | -2.765,00 |
| CS(11,t) | -119,00 | -119,00 | -100,50 | -100,50 | -99,50 | -107,50 | -127,00 | -119,50 |
| CS(12,t) | -13.651,00 | -11.951,00 | -11.458,00 | -11.356,00 | -11.679,00 | -11.891,50 | -14.764,50 | -14.161,00 |
| | 69,53 | 157,54 | 179,15 | 106,53 | 118,45 | 219,50 | 67,51 | 136,47 |
| CSI(t) | 3,09 | 25,14 | 11,48 | 5,27 | 3,21 | 12,59 | 4,35 | 12,36 |
| | 89,31 | 969,41 | 1.042,54 | 214,33 | 75,98 | 448,96 | 77,07 | 1.288,19 |
| | 2.580,00 | 2.750,00 | 2.785,00 | 2.785,00 | 2.505,00 | 2.420,00 | 2.185,00 | 2.235,00 |
| CSR(t) | 81,00 | 81,00 | 99,50 | 99,50 | 100,50 | 92,50 | 73,00 | 80,50 |
| | 8.349,00 | 10.049,00 | 10.542,00 | 10.644,00 | 10.321,00 | 10.108,50 | 7.235,50 | 7.839,00 |

TABLA 8.X: SUBASTADOR - TABLA RESUMEN: P_o, CSI, CSR (PARTE 2)

| <i>t</i> | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| CS(1, <i>t</i>) | 240,00 | 305,00 | 315,00 | 230,00 | 150,00 | 240,00 | 240,00 | 50,00 |
| | 21,00 | 25,50 | 28,00 | 18,50 | 13,00 | 20,50 | 22,00 | 4,50 |
| | 2.320,50 | 2.983,50 | 3.170,50 | 2.133,50 | 1.479,00 | 2.380,00 | 2.448,00 | 518,50 |
| CSI(1, <i>t</i>) | 8,69 | 7,54 | 0,13 | 18,48 | 3,33 | 2,06 | 0,00 | 0,89 |
| | 1,23 | 0,08 | 1,09 | 0,42 | 0,46 | 0,16 | 1,34 | 0,30 |
| | 7,40 | 8,92 | 21,75 | 18,29 | 12,33 | 0,55 | 30,29 | 27,43 |
| CS(2, <i>t</i>) | 175,00 | 235,00 | 170,00 | 170,00 | 185,00 | 235,00 | 195,00 | 210,00 |
| | 14,50 | 20,00 | 17,50 | 14,00 | 17,00 | 20,50 | 17,00 | 18,50 |
| | 1.674,50 | 2.312,00 | 1.623,50 | 1.623,50 | 1.853,00 | 2.346,00 | 1.955,00 | 2.133,50 |
| CSI(2, <i>t</i>) | 7,86 | 5,35 | 8,21 | 9,56 | 0,12 | 1,84 | 3,69 | 1,67 |
| | 0,21 | 0,37 | 3,67 | 0,29 | 1,20 | 0,57 | 0,65 | 0,69 |
| | 3,13 | 15,54 | 5,58 | 19,13 | 4,19 | 14,43 | 41,88 | 50,17 |
| CS(3, <i>t</i>) | 235,00 | 355,00 | 265,00 | 215,00 | 245,00 | 270,00 | 270,00 | 295,00 |
| | 19,00 | 31,00 | 27,00 | 18,00 | 22,00 | 22,00 | 22,00 | 25,00 |
| | 2.159,00 | 3.553,00 | 2.618,00 | 2.023,00 | 2.320,50 | 2.473,50 | 2.575,50 | 2.983,50 |
| CSI(3, <i>t</i>) | 19,68 | 1,25 | 8,75 | 21,25 | 14,05 | 23,39 | 20,00 | 8,10 |
| | 0,60 | 0,76 | 5,10 | 1,44 | 2,26 | 0,92 | 0,63 | 0,48 |
| | 5,77 | 15,50 | 55,50 | 85,50 | 10,98 | 7,40 | 75,50 | 114,45 |
| CS(4, <i>t</i>) | 255,00 | 305,00 | 320,00 | 320,00 | 295,00 | 255,00 | 255,00 | 50,00 |
| | 20,50 | 25,50 | 31,50 | 21,50 | 17,50 | 20,00 | 23,50 | 5,50 |
| | 2.244,00 | 2.898,50 | 3.068,50 | 3.068,50 | 1.436,50 | 2.337,50 | 2.371,50 | 2.303,50 |
| CSI(4, <i>t</i>) | 30,70 | 16,56 | 14,67 | 114,89 | 152,78 | 24,27 | 20,56 | 2,38 |
| | 1,33 | 0,85 | 5,40 | 3,97 | 5,34 | 0,28 | 3,46 | 1,43 |
| | 0,99 | 14,06 | 15,17 | 1.017,39 | 14,28 | 30,16 | 27,06 | 1.827,31 |
| CS(5, <i>t</i>) | 290,00 | 390,00 | 270,00 | 270,00 | 310,00 | 420,00 | 320,00 | 370,00 |
| | 27,50 | 33,50 | 33,50 | 24,50 | 27,50 | 33,50 | 28,00 | 30,00 |
| | 2.796,50 | 3.850,50 | 3.850,50 | 3.850,50 | 3.085,50 | 3.893,00 | 3.859,00 | 3.842,00 |
| CSI(5, <i>t</i>) | 11,44 | 7,26 | 0,35 | 2,60 | 1,87 | 31,41 | 1,15 | 22,78 |
| | 3,69 | 0,79 | 10,45 | 1,65 | 1,16 | 0,29 | 0,75 | 0,32 |
| | 10,88 | 23,07 | 1.153,97 | 1.176,54 | 4,15 | 7,05 | 670,46 | 369,78 |
| CS(6, <i>t</i>) | 225,00 | 365,00 | 365,00 | 365,00 | 365,00 | 355,00 | 355,00 | 330,00 |
| | 21,00 | 32,00 | 32,00 | 32,00 | 26,50 | 22,00 | 22,00 | 25,00 |
| | 2.159,00 | 3.544,50 | 3.544,50 | 3.544,50 | 2.312,00 | 2.482,00 | 2.550,00 | 2.915,50 |
| CSI(6, <i>t</i>) | 9,68 | 11,25 | 108,75 | 171,25 | 134,05 | 108,39 | 105,00 | 43,10 |
| | 2,60 | 1,76 | 10,10 | 15,44 | 6,76 | 0,92 | 0,63 | 0,48 |
| | 5,77 | 7,00 | 982,00 | 1.607,00 | 2,48 | 15,90 | 50,00 | 46,45 |
| CS(7, <i>t</i>) | 5,00 | 250,00 | 250,00 | 250,00 | 250,00 | 10,00 | 10,00 | 10,00 |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| CSI(7, <i>t</i>) | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10,00 | 10,00 | 10,00 |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| CS(8, <i>t</i>) | 190,00 | 255,00 | 195,00 | 135,00 | 80,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

| | | | | | | | | |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 2,50 | 5,00 | 7,50 | 10,00 | 17,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| CSI(8,t) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 1.250,00 | 1.250,00 | 1.250,00 | 1.250,00 | 1.250,00 | 25,00 | 25,00 | 25,00 |
| CS(9,t) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 348,50 | 348,50 | 348,50 | 348,50 | 348,50 | 8,50 | 8,50 | 8,50 |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 25,00 | 25,00 | 25,00 |
| CSI(9,t) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 11,00 | 11,00 | 11,00 | 11,00 | 11,00 | 8,50 | 8,50 | 8,50 |
| CS(10,t) | -2.865,00 | -3.710,00 | -3.400,00 | -3.205,00 | -3.130,00 | -1.810,00 | -1.670,00 | -1.340,00 |
| CS(11,t) | -123,50 | -167,50 | -169,50 | -128,50 | -123,50 | -138,50 | -134,50 | -108,50 |
| CS(12,t) | -13.702,00 | -19.490,50 | -18.224,00 | -16.592,00 | -12.835,00 | -15.920,50 | -15.767,50 | -14.705,00 |
| | 95,54 | 54,21 | 148,35 | 348,03 | 323,69 | 226,35 | 185,39 | 113,91 |
| CSI(t) | 9,66 | 4,61 | 35,81 | 23,20 | 17,19 | 3,15 | 7,46 | 3,71 |
| | 44,94 | 95,08 | 2.244,97 | 3.934,85 | 59,40 | 83,99 | 903,68 | 2.444,09 |
| | 2.135,00 | 1.290,00 | 1.600,00 | 1.795,00 | 1.870,00 | 3.190,00 | 3.330,00 | 3.660,00 |
| CSR(t) | 76,50 | 32,50 | 30,50 | 71,50 | 76,50 | 61,50 | 65,50 | 91,50 |
| | 8.298,00 | 2.509,50 | 3.776,00 | 5.408,00 | 9.165,00 | 6.079,50 | 6.232,50 | 7.295,00 |