

SIMULACION COMPUTACIONAL DE LA CADENA LOGÍSTICA DE LA REFINERÍA SAN LORENZO

**Autor: Carlos M. Bacigalupo
Petrobras Energía S.A.**

**Co-Autores: Carlos A. Gratti - Alberto O. Martínez
Petrobras Energía S.A.**

**Luiz Augusto G. Franzese - Marcelo Moretti Fiorini – Daniel P. Paz
Paragon Tecnología**

SINOPSIS

Luego de la fusión del grupo de empresas que integraban su sistema, en enero de 2005, Petrobrás se encontró frente a un mercado de combustibles en recuperación al que debía enfrentar. Para esto contaba con una serie de activos (refinerías, plantas de almacenaje y despacho, medios de transporte) que, aunque con incrementos de capacidad programados, originalmente habían resultado adecuados para la operación individual de las empresas preexistentes: RSL (Refinería San Lorenzo) Eg3 y PeCom.

Ante este panorama, y con el objetivo de afrontar con éxito el escenario de operaciones e inversiones futuras, surgió la necesidad de contar con herramientas que permitieran analizar los esquemas de operación vigentes y validarlos mediante cálculos precisos.

Por medio de un software que trabaja con tecnología de simulación, se pudo desarrollar un modelo sencillo y confiable que permitió representar el sistema que cubre desde el abastecimiento de crudo a RSL hasta la entrega de productos a clientes, pasando por los procesos que integran su esquema de producción (refinación y petroquímicos), almacenamiento y despacho.

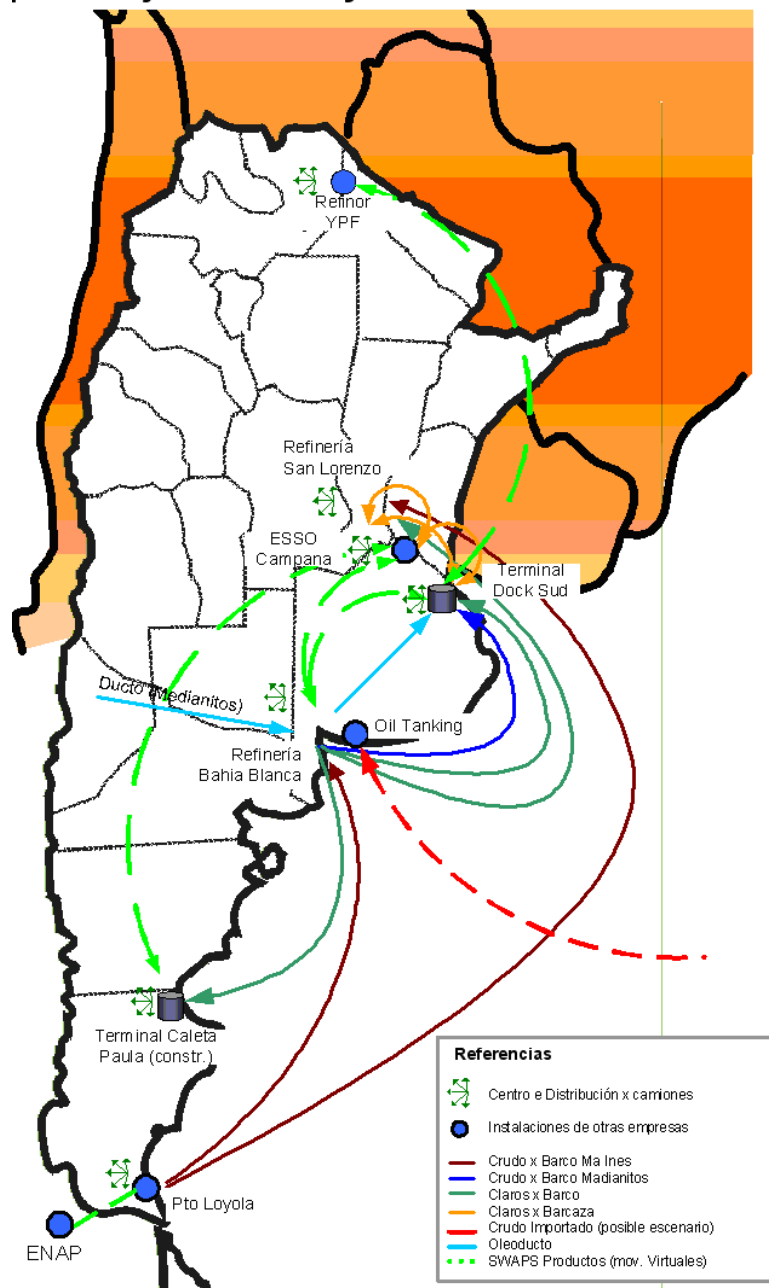
El modelo desarrollado determinó las inversiones necesarias en tanques, líneas, cargadero de camiones y muelles del complejo San Lorenzo, al tiempo que aportó una herramienta apta para su reutilización futura tanto en RSL como en otros complejos de la compañía.

INTRODUCCION

A comienzos de 2005, PESA (Petrobras Energía SA) se encontró con una serie de activos y esquemas de producción y distribución asociados que habían sido útiles para responder a las necesidades de las empresas que la integraban hasta su fusión, las cuales operaban de manera cuasi-aislada y con mínimo nivel de integración entre sí, y no se correspondían con los requerimientos de una empresa integrada en proceso de expansión.

Estos activos que componen el sistema de producción y distribución de combustibles de PESA y los movimientos habituales de crudos y derivados que se realizan entre ellos pueden verse en la **Figura 1**.

Figura 1. Plantas PESA y movimientos de productos



Refinerías: San Lorenzo (incluyendo el complejo petroquímico de PGSM (Puerto General San Martín)) y Bahía Blanca.

Plantas de Almacenamiento y Despacho Propias: Puerto Loyola (crudo), Bahía Blanca (crudo y productos), Dock Sud (crudo y productos), San Lorenzo (crudo y productos) y próximamente Caleta Paula (productos).

Plantas de Almacenamiento y Despacho de Terceros: Cabo Negro (productos), Puerto Rosales (crudo), Dock Sud (productos), Campana (productos) y Tucumán (productos).

Los desafíos que buscó resolver la compañía a partir de este trabajo respondieron a dos necesidades:

- Por un lado, responder de forma económica, ágil y segura a una demanda de productos creciente.
- Por otra parte, “integrar” los activos existentes de manera tal de lograr un sistema único y eficiente.

Futuros planes de expansión de sus unidades de producción planteaban un problema adicional: ¿Cómo determinar y dimensionar las inversiones necesarias de manera tal de alcanzar con éxito los objetivos organizacionales optimizando recursos, tiempo y garantizando la seguridad de la operación?

Resolver la pregunta antes planteada llevó a enfocar el problema desde distintas ópticas. Entre ellas, se buscaron soluciones desde la experiencia del personal involucrado y se recurrió a sistemas de decisión basados en modelos de ecuaciones lineales habitualmente usados para optimizar la producción o la distribución a clientes.

Sin embargo, nos encontramos con que ninguno de ellos nos resultaba completamente adecuado.

En el primero de los casos, el sistema carecía de un soporte que no estuviera viciado de las percepciones personales de los individuos involucrados en el trabajo diario.

El segundo, no consideraba los distintos comportamientos que adoptaban las variables intervinientes a lo largo del tiempo (variaciones en la demanda, aleatoriedad en llegada de los navíos, en los volúmenes transportados, etc.). Por lo tanto, el dimensionamiento de los recursos no se expresaba adecuadamente.

Ante estos obstáculos, optamos por recurrir a la experiencia que Petrobrás introdujo en Brasil bajo un concepto de análisis logísticos denominados **“Modelos Computacionales basados en Tecnologías de Simulación”**.

De esta forma, los nuevos Modelos permitieron reproducir integralmente la cadena de Supply Chain, de manera tal de visualizar el comportamiento de los elementos que la componen, tanto a lo largo del tiempo, como a partir de la aleatoriedad que los caracteriza. Facilidades de producción (unidades en refinería y planta petroquímica), de almacenaje (tanques monoproducción y de blending, líneas, bombas), de transporte (ductos, barcos, trenes, camiones) y factores externos (variabilidad de la demanda, de factores climáticos que afectan la operación, etc.) fueron estudiados y modelados en detalle.

Además, estos modelos permitieron capturar e integrar correctamente otros comportamientos diferentes entre sí: Los “procesos continuos” (típicamente asociados a procesos de producción) y los “eventos discretos” (vinculados al blending de productos, a movimiento entre distintas plantas y al despacho de productos por distintos medios de transporte).

A partir de estos cambios y definida la herramienta para estudiar la situación y responder a las preguntas antes planteadas, se definió un esquema de trabajo secuencial para analizar las plantas y se estableció luego un acercamiento desde lo general a lo particular dentro de cada una de ellas.

En el esquema de estudio de plantas, el orden de prioridad estableció el siguiente esquema:

1. Complejo San Lorenzo – Puerto General San Martín
2. Refinería Bahía Blanca
3. Plantas de Almacenamiento y Despacho
4. Integración del Sistema

Por último, y respecto del acercamiento incremental, este permitió pasar desde un entendimiento global del sistema (**figura 2**) a una comprensión detallada de los procesos involucrados (**figuras 3 y 4**), siendo necesario para esto último modelar en detalle todas las variables intervinientes (**figuras 5 y 6**).

Figura 2. Sistema global del complejo San Lorenzo - PGSM

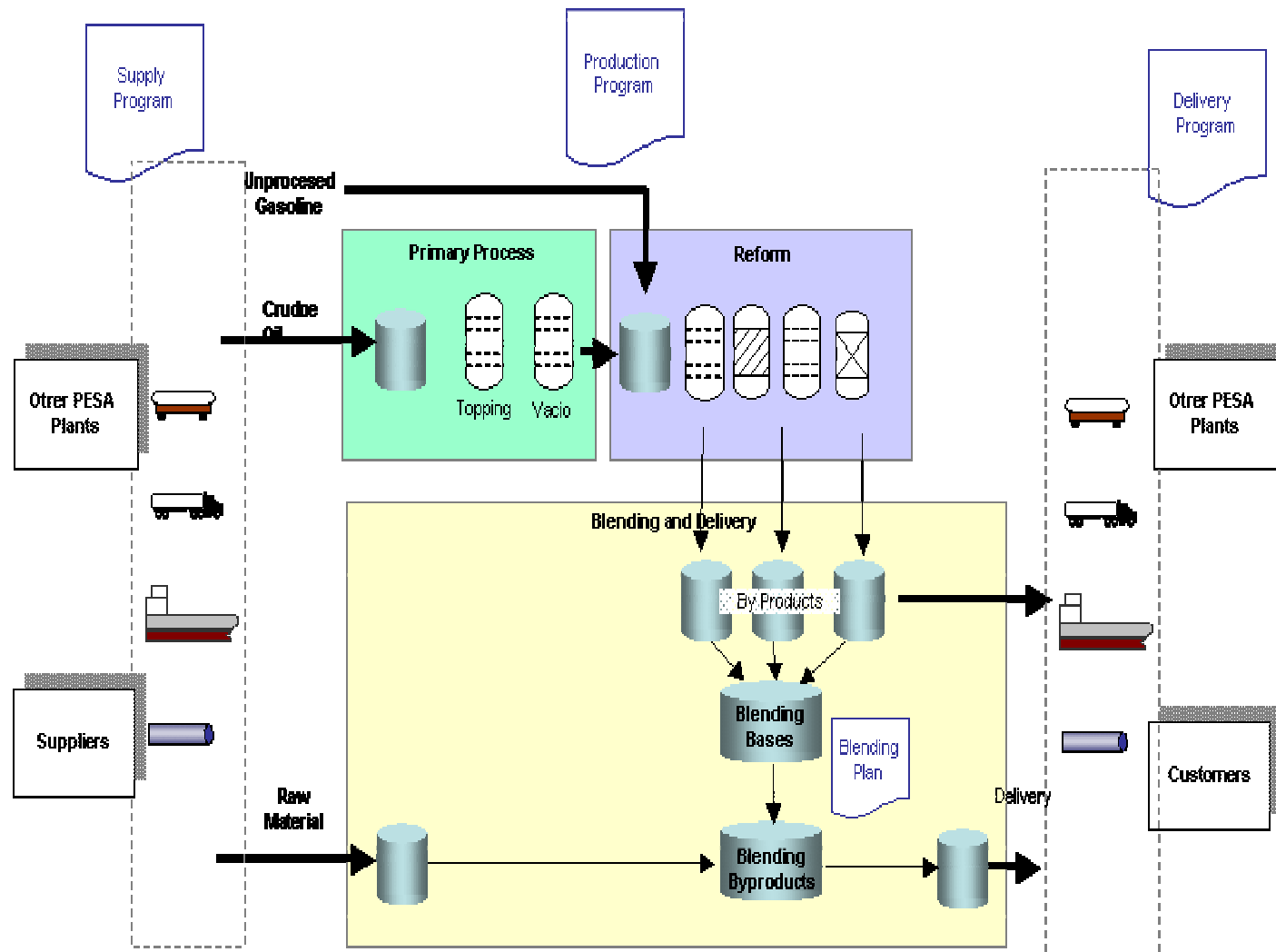


Figura 3. Detalle parcial de unidades, tanques y flujos del complejo San Lorenzo - PGSM

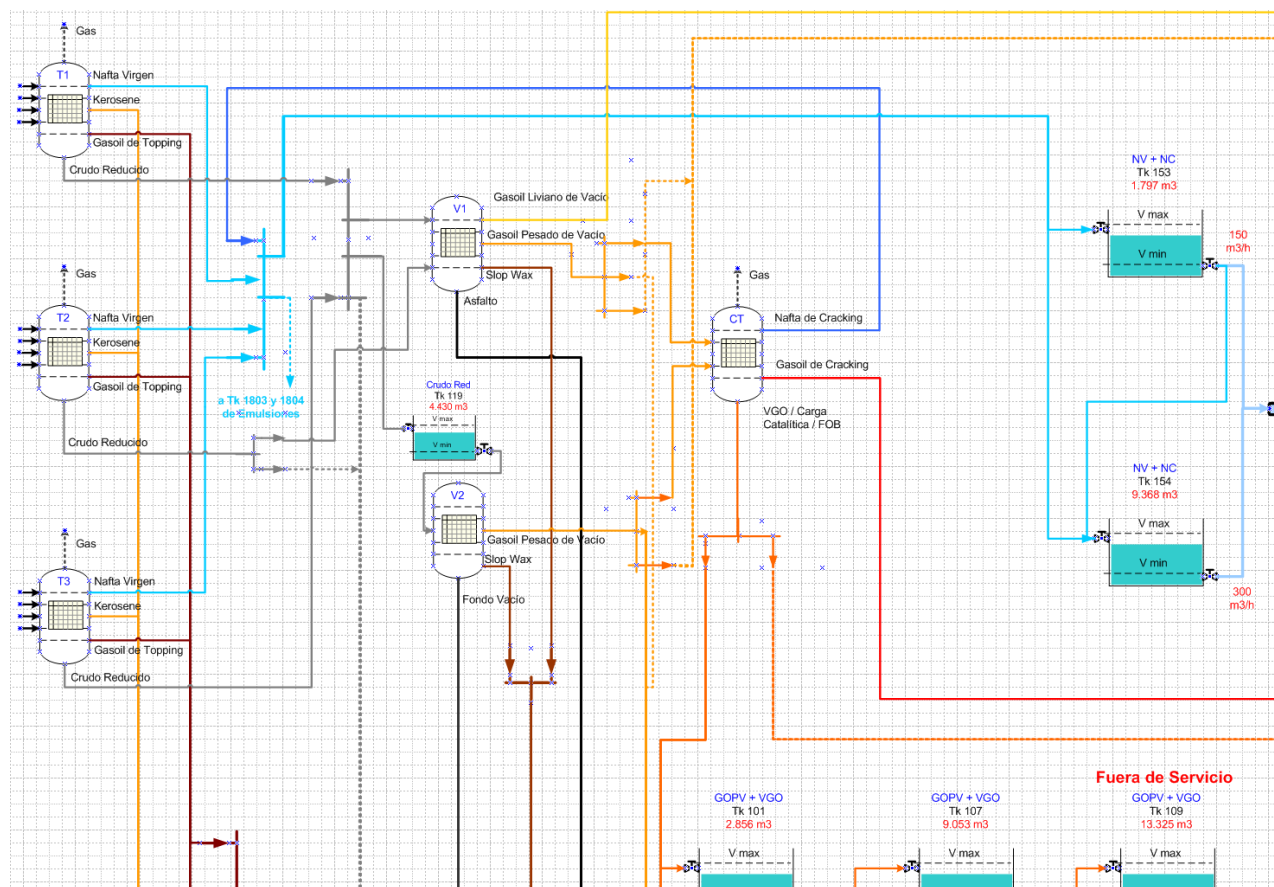
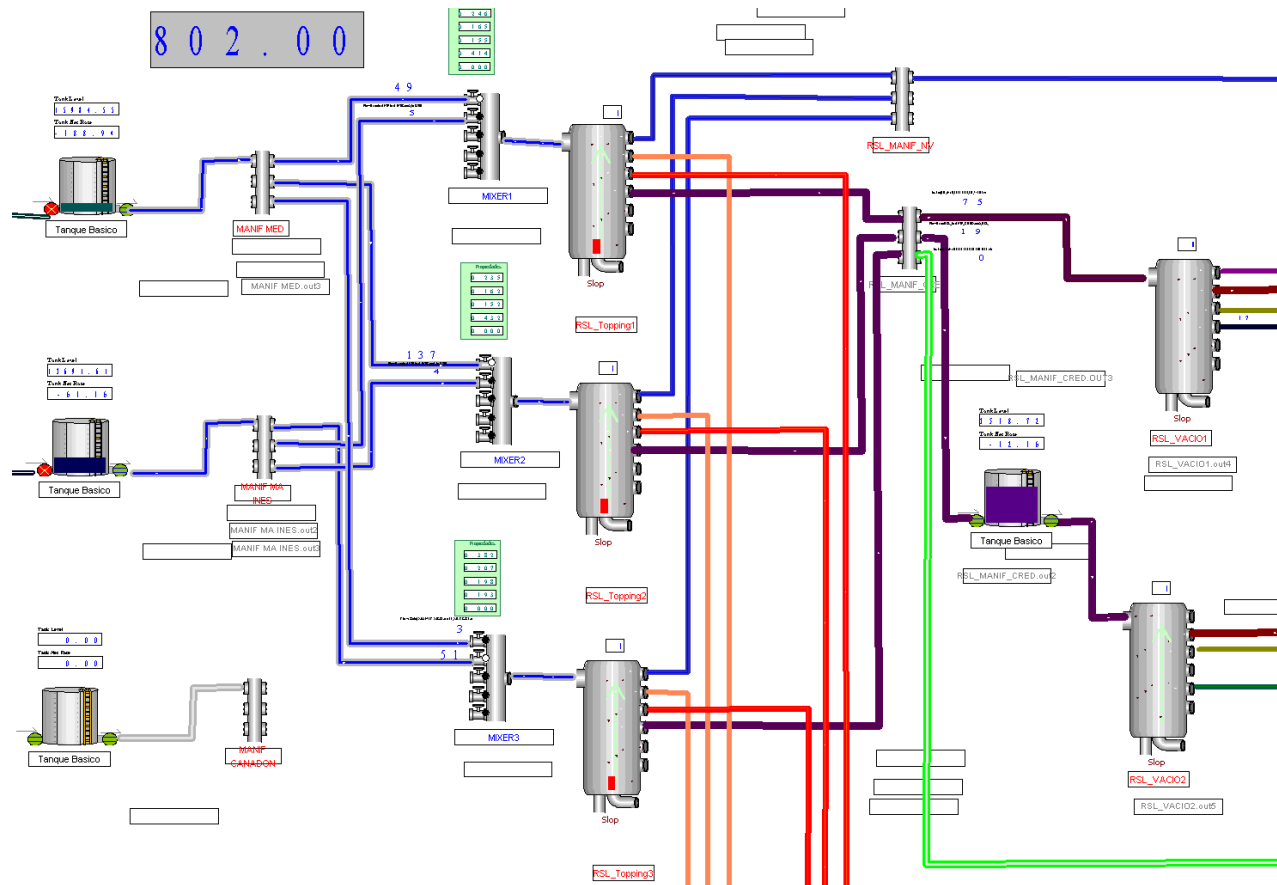


Figura 4. Reflejo dentro del modelo computacional de la Figura 3



Figuras 5 y 6. Modelado en detalle. Ejemplo en las cargas y rendimientos en Topping 1

UP Complex

Nombre:

Capacidad: (m3/hora)

Salidas

Productos (Texto)	Rendimientos (m3/m3)
Prod1: NV	R1: V_MIXER1(1)
Prod2: KERO	R2: V_MIXER1(2)
Prod3: GO	R3: V_MIXER1(3)
Prod4: CRUDO RED	R4: V_MIXER1(4)
Prod5:	R5: 0
Prod6:	R6: 0
Prod7:	R7: 0

Interrupciones Operativas

Carga Minima Operativa: (m3/hora)

Tiempo Puesta en Marcha: (m3)

Volumen Interno: (m3)

OK Cancel Help

Mixer

Nombre:

FlujoMax: (salida)

% Valvulas Entradas

Entrada1:	Entrada2:	Entrada3:	Entrada4:	Entrada5:
0.9	0.10	0.00	0.00	0.00

Productos Entradas

	A1:	B1:	C1:	D1:	E1:
P1: R_NV	0.2315	0.3900	0.0718	0.000	0.000
P2: R_K	0.1647	0.2152	0.1615	0.000	0.000
P3: R_GO	0.1563	0.2053	0.1853	0.000	0.000
P4: R_CR	0.4448	0.1844	0.5785	0.000	0.000
P5:	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

PROPIEDADES

Nota: "A" corresponde a la entrada de mas arriba

OK Cancel Help

Para llevar a cabo el proceso antes descrito, se formó un equipo de trabajo mixto integrado por personal de PESA y de la consultora Paragon Tecnología. La primera brindó un líder de proyecto responsable de suministro de información a la consultora, quien por su parte aportó un grupo de especialistas en modelaje y simulación computacional.

Dentro de PESA, participó el personal de todas las áreas involucradas (Planeamiento, Planificación de la Producción, Procesos, Movimientos de Productos, Despacho, Suministros & Trading, Chartering, etc.) quienes trabajaron tanto en el relevamiento como en la validación continua de los resultados obtenidos.

DESARROLLO

Al inicio del trabajo hacia fines de 2005, la primera dificultad a la que se enfrentó el equipo de modelaje fue determinar como desarrollar un modelo que no sirviese exclusivamente para facilitar la toma de decisiones en una “única oportunidad” sino también que sea reutilizable en situaciones recurrentes dentro de la misma planta e implementable en instalaciones con procesos productivos y logísticos de características similares.

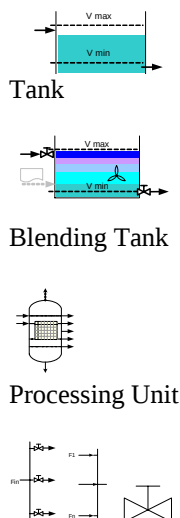
Con el objeto de desarrollar un modelo de “larga vida”, se recurrió entonces al desarrollo de “templates” específicos, componentes claves del modelo computacional y compuestos por elementos creados especialmente a requerimiento de PESA.

Estos elementos, tienen un comportamiento similar independientemente del lugar físico donde se encuentren emplazados (Ejemplo: Un tanque con una determinada capacidad de almacenamiento que recibe ‘n’ corrientes, las mezcla en un tiempo ‘x’ y luego disponibiliza un producto ‘z’ como salida) y si bien determinar y crear la cantidad de ellos que iban a ser necesarios insumió un tiempo próximo a los tres meses, en la actualidad los mismos están disponibles para su utilización “instantánea” en los modelos actuales o a crearse.

De esta manera, se definieron elementos, con sus respectivos comportamientos e indicadores asociados, como ser: tanques, tanques de blending, unidades de proceso, tuberías simples de conexión, poliductos, manifolds, bombas, válvulas reguladoras, válvulas derivadoras, mezcladores, muelles, camiones, cargaros de camiones, etc.

Un ejemplo de los elementos típicos considerados en ellos es el expuesto en la **figura 7**.

Figura 7. Componentes típicos del templates de refinerías





Load/Unload Stations

Definidos los elementos con los cuales se iba a desarrollar el trabajo, se avanzó en dos frentes distintos y simultáneos:

- Relevamiento de información histórica correspondiente a los seis últimos meses de operación.
- Construcción de flujogramas detallados de las distintas plantas.

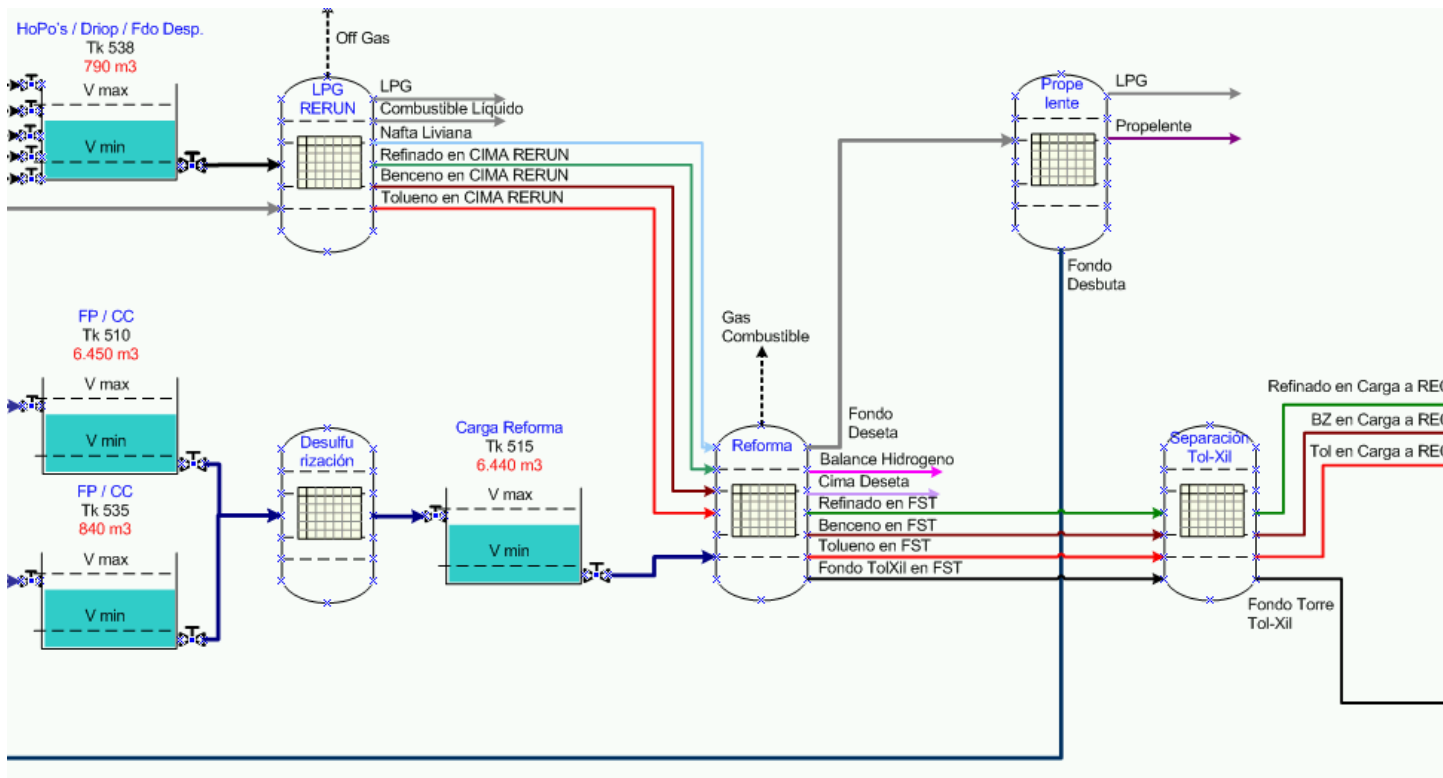
Dentro del punto a) se relevó información de: volúmenes despachados por día, producto y medio de transporte; lotes típicos de pedidos, formulación y bombeo por producto; navíos utilizados y módulos transportados por tipo de operación (ventas, importaciones y exportaciones); compras de materias primas con sus respectivos puntos de pedidos; formulaciones típicas de blendings; situación de la planta al día ‘cero’ de la simulación (stocks por tanque, situación de los navíos, etc); capacidades de las unidades de producción; rendimientos típicos; capacidades de los distintos cargaderos de productos; capacidades de líneas, poliductos y bombas. Un ejemplo de la información relevada puede visualizarse en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Ejemplo del tipo de información relevada: Ventas por producto y planta

			VOLUMENES		
			MES	Media Diaria	Desv.Est
VENTAS por CAMIONES					
PLANTA FLUVIAL					
Livianos	NAFTA NORMAL 86+	m3	2.539	99	36
	NAFTA SUPER 95+	m3	10.215	399	129
	NAFTA PODIUM	m3	2.779	109	42
	KEROSENE	m3	202	8	11
	GAS OIL	m3	47.394	1.850	575
Pesados	IFO	tn	741	29	26
	FUEL OIL	tn	2.315	91	54

Para llevar a cabo el punto b), se efectuaron reuniones periódicas con el personal de las distintas áreas mencionadas precedentemente con el objetivo de determinar por cada una de las plantas que integran el complejo San Lorenzo (Refinería y Puerto General San Martín) un flujograma único en el cual se reflejen las unidades intervinientes, los flujos de entrada y salida de cada una de ellas, las alternativas de derivación de cada corriente y tanques intermedios y finales, sean de blending o de producto. A modo de ejemplo, en la **Figura 8** podemos visualizar un flujograma detallado de parte del complejo petroquímico de Puerto General San Martín (PGSM).

Figura 8. Flujograma detallado de parte del sistema de PGSM



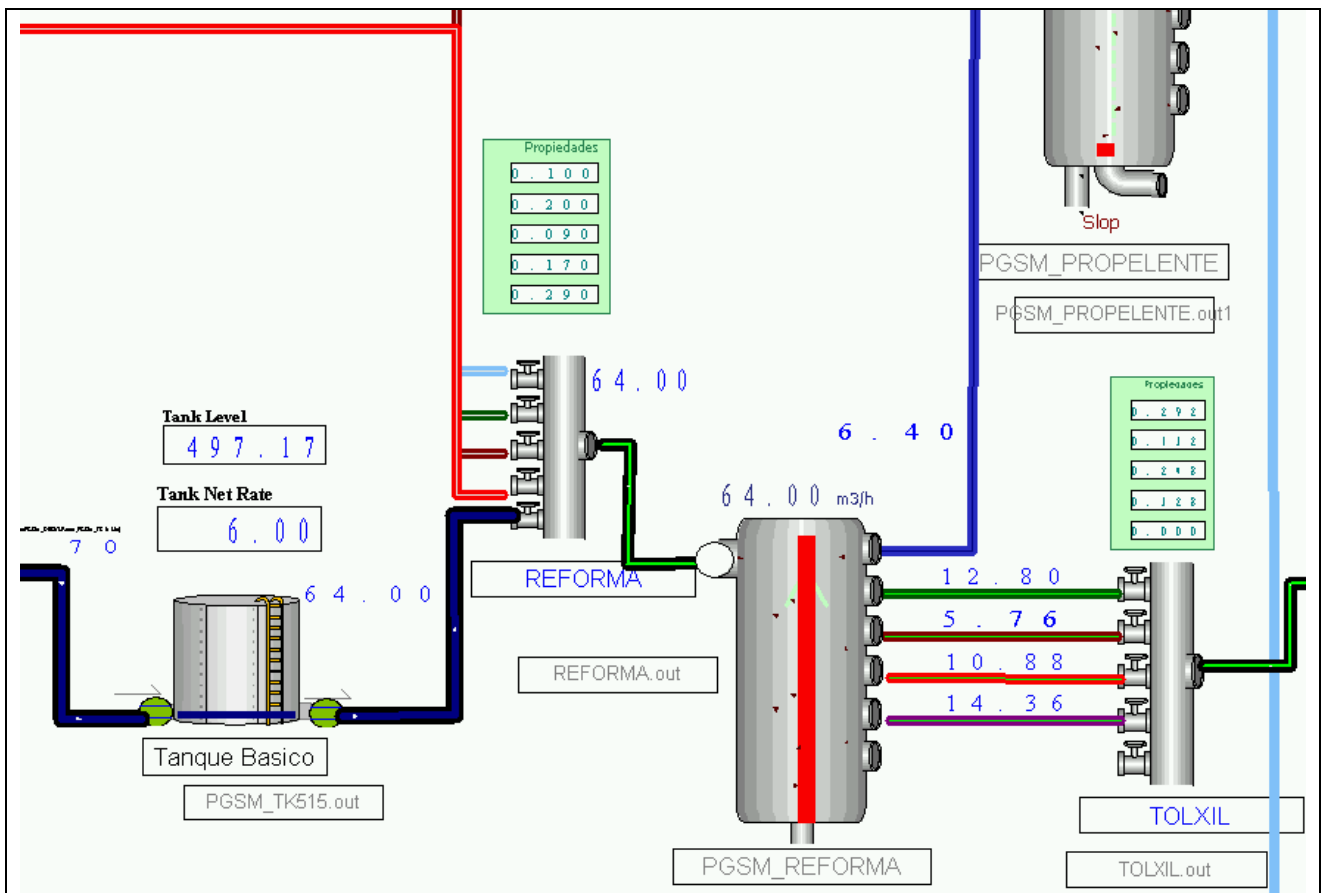
Al igual que en el ejemplo anterior, se procedió con la totalidad del complejo RSL - PGSM - Planta de Despacho, cuidando siempre de revalidar los trabajos con el personal involucrado.

Posteriormente, en lo que implicó el mayor consumo de tiempo, se fueron determinando todas las restricciones y reglas operacionales existentes en la actualidad. Las mismas pueden venir dadas tanto por factores externos (Ej.: imposibilidad de cargar camiones de combustibles fuera de una banda horaria establecida) o intrínsecos del proceso (Ej.: imposibilidad de bombear simultáneamente dos corrientes determinadas a un mismo tanque).

Con los flujogramas y con el listado de restricciones y reglas operacionales con un alto grado de avance, se procedió a volcar en el modelo computacional toda la información recopilada.

En la **Figura 9** se puede visualizar parte de flujograma expuesto en la Figura 8 ya volcado y “funcionando” dentro del modelo computacional. En él podemos observar el nivel de los tanques, sus flujos de entrada y salida, la carga promedio de las unidades, los rendimientos de salida y los destinos de los mismos transcurridos algunos días de la simulación.

Figura 9. Visión parcial del funcionamiento del modelo dentro del complejo de PGSM.

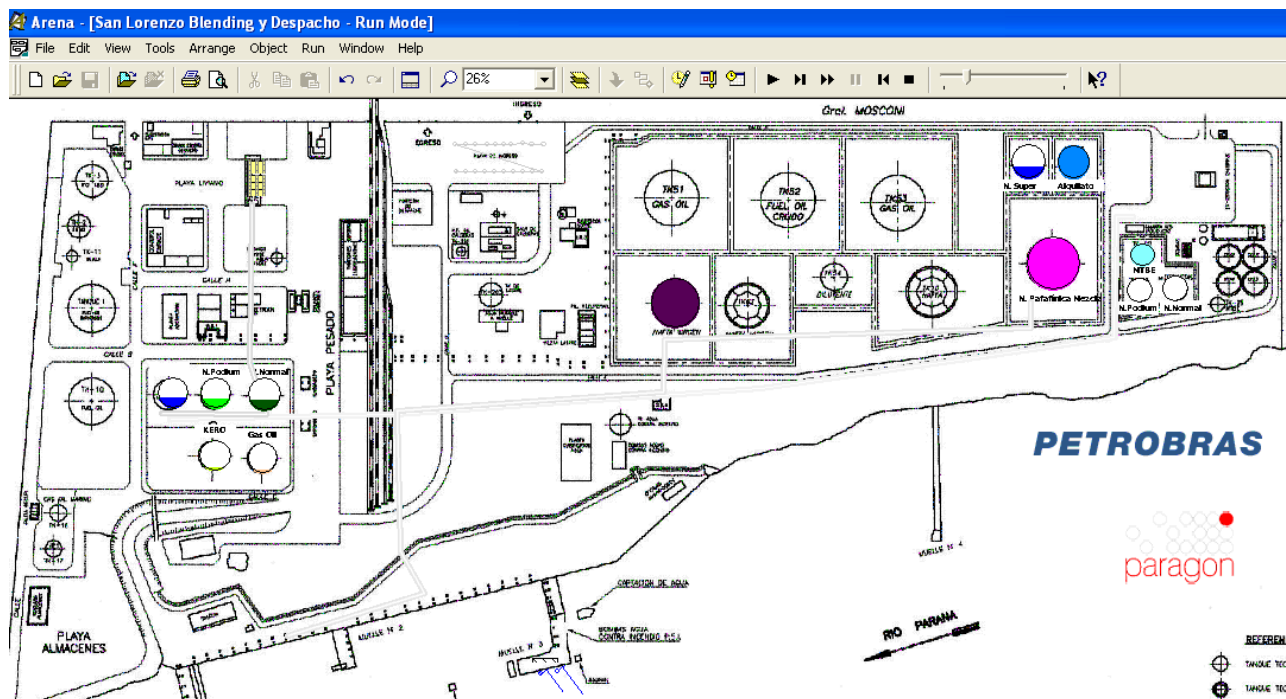


Con los flujogramas, reglas de operación, restricciones, demandas de clientes, tipos y módulos de transportes volcados al modelo computacional, dio comienzo a la etapa más crítica en lo que hace a la validez del modelo como herramienta para la toma de decisiones: la “validación” de los resultados con los usuarios.

Esta etapa de validación requirió de continuas corridas del modelo y de sucesivos ajustes tanto de las premisas consideradas como de aquellas que por error se habían omitido (típicamente restricciones operacionales). De esta manera, luego de casi un mes de trabajo se logró alcanzar un modelo que trabaja con un rango de error menor al 5% en lo que hace a cargas de crudo procesadas y productos evacuados del sistema.

En todo este período, fue crítica la “visualización” del modelo por parte de los usuarios. De esta manera, la sensación de “representación realidad” afianzó la confianza en el mismo, evitando la resistencia que generan otras herramientas que no ofrecen esta alternativa. Otro ejemplo del modelo operando, esta vez en la sección de despacho, puede ser visto en la **Figura 10**.

Figura 10. Visión Global del estado de los tanques y el despacho dentro de Planta Fluvial.



Un elemento clave en el proceso de validación, fue el continuo monitoreo de la situación de la planta durante el transcurso del tiempo. En las **Figuras 11 y 12** podemos observar algunos de los reportes que genera el modelo minuto a minuto y que sirven como una suerte de “panel de control” al operador del modelo.

Figura 11. Panel de Control: Stocks en tanques de crudo, barcos cargados y descargados, volúmenes y despachados.

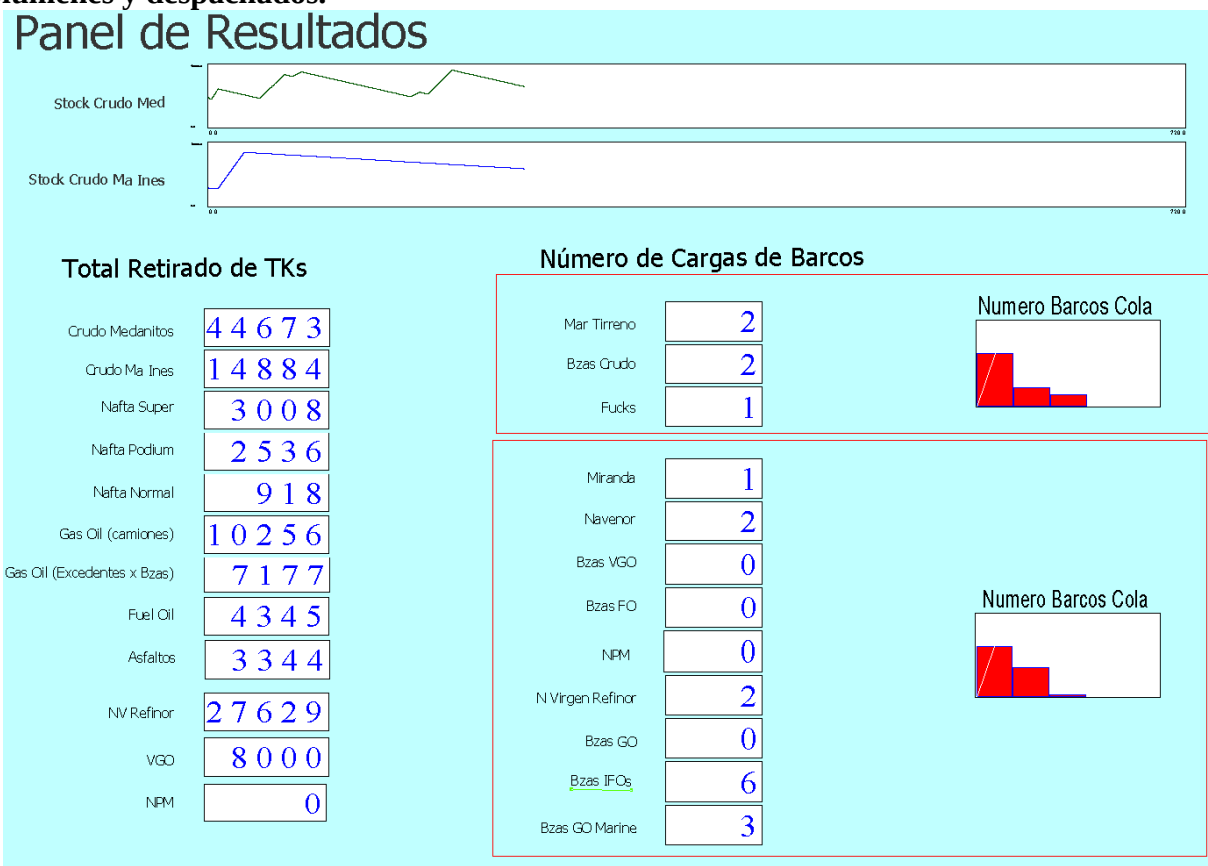
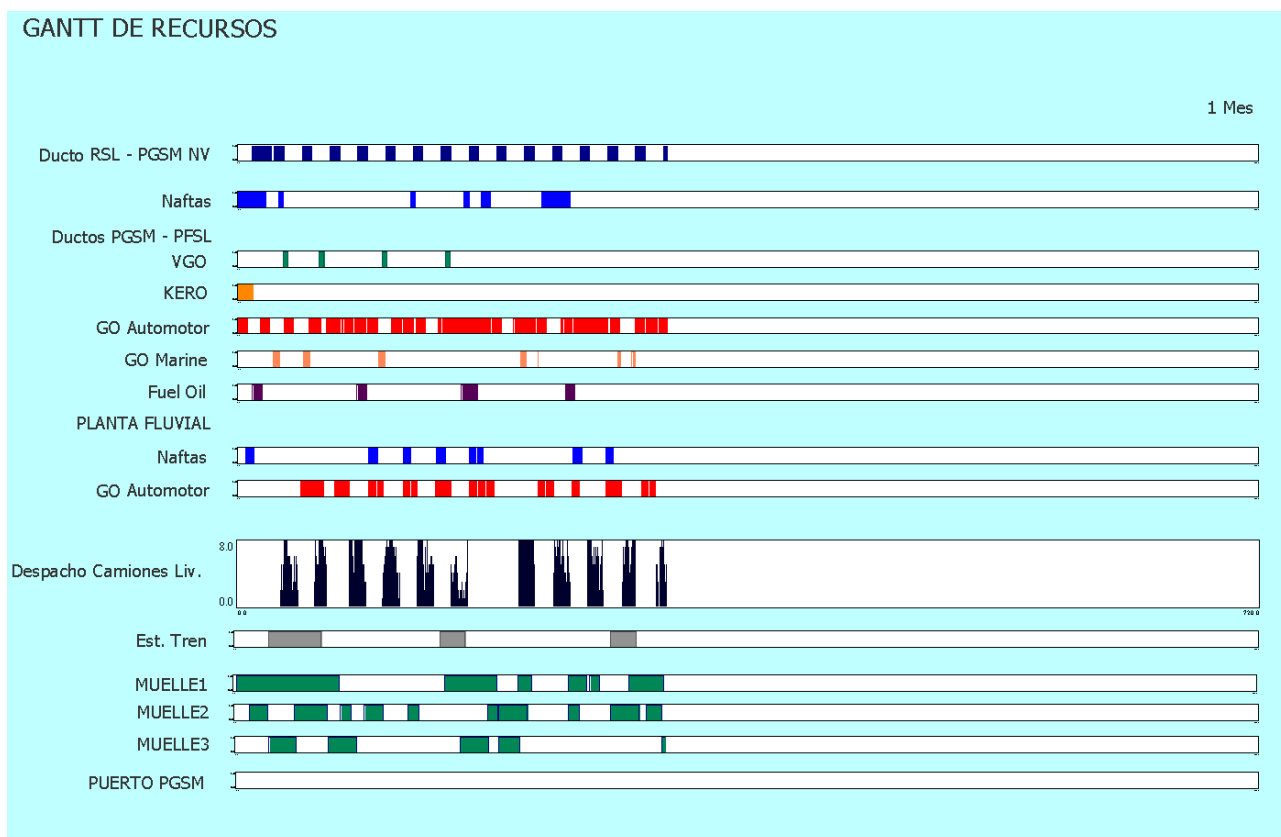


Figura 12. Panel de Control: Utilización de ductos y muelles.



A continuación, considerado “validado” y apto para la toma de decisiones el modelo desarrollado, se procedió a listar las modificaciones planeadas en las unidades de proceso y a analizar el comportamiento simulado en caso de que tanto el resto de los activos (líneas, bombas, tanques) como reglas y restricciones operaciones se mantuviesen sin efecto.

Acto seguido, se enumeraron todas las modificaciones estructurales (tanques de almacenamiento, blending, aumento en las capacidades de bombeo y despacho, muelles) que a priori el personal de Operaciones consideraba podían resolver los diversos cuellos de botellas generados tanto por las modificaciones planeadas como por el escenario de demanda futura.

De esta manera, se introdujeron en el modelo los cambios sugeridos y se volvió a transitar el camino de: flujograma → determinación de reglas de operación → validación de resultados → correcciones → validación de resultados → aprobación modelo final simulando situación futura.

CONCLUSIONES

Fue posible diseñar una herramienta que, bajo el formato de un modelo de simulación, permitió validar los esquemas de operación y determinar las inversiones necesarias para que el sistema de Refinería San Lorenzo – Puerto General San Martín afronte exitosamente los escenarios productivos y comerciales de los próximos años.

Adicionalmente, análisis futuros relacionados a eventuales modificaciones de los esquemas de producción, movimientos y despachos dentro del complejo RSL-PGSM son factibles con mínimas modificaciones al modelo computacional desarrollado.

Por último, gracias a la generación de los templates genéricos antes mencionados, el modelo de este complejo será fácilmente adaptado al resto de las plantas integrantes del sistema de PESA en lo que hace a producción y distribución de combustibles.

BIBLIOGRAFIA

Arons H. S.; Asperen E., Dekker R.; Polman M. (2004), Coordination in a Supply Chain for Bulk Chemicals, Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference., USA;

Ruiter, K. C. R.; Sluijs J. M.; Stoutjesdijk W. B. (2000), Simulation for Recurring Decisions, Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference., USA;

AUTOR Y COAUTORES

CARLOS MARIA BACIGALUPO es analista de planeamiento y nuevos negocios, Licenciado en Comercialización y MBA de la Universidad Torcuato Di Tella. Ha estado trabajando en compañías como Astra CAPSA, Repsol YPF y Petrobras Energía S.A. en diferentes áreas como Nuevos Negocios, Control de Gestión y actualmente lo hace en Planeamiento & Logística, principalmente abocado a estudios de simulación. Puede ser contactado por email en [**<carlos.bacigalupo@petrobras.com>**](mailto:carlos.bacigalupo@petrobras.com)

CARLOS ALBERTO GRATTI es Gerente de División en Petrobras Energía S.A., con más de 20 años de experiencia en la industria del petróleo, es el responsable del planeamiento de la producción y la logística de la división Refinación & Petroquímica. Es Ingeniero Químico y MBA. Puede ser contactado por email en [**<carlos.gratti@petrobras.com>**](mailto:carlos.gratti@petrobras.com)

ALBERTO OMAR MARTINEZ es Gerente de Planeamiento Downstream en Petrobras Energía S.A., graduado en Seguridad Industrial, tiene una amplia experiencia como responsable de las áreas logísticas de compañías privadas como Shell CAPSA y Eg3 S.A. y como asesor de la Secretaría de Transporte Argentina. Puede ser contactado por email en [**<alberto.martinez@petrobras.com>**](mailto:alberto.martinez@petrobras.com)

LUIZ AUGUSTO G. FRANZESE es consultor en simulación, Ingeniero Industrial y Master en Logística. A la fecha ha completado exitosamente casi 150 proyectos en simulación computacional. Fundó PARAGON Tecnología en 1992, la compañía pionera y líder en simulación en América del Sur. Ha entrenado más de 1.200 profesionales en simulación. Puede ser contactado por email en [**<paragon@paragon.com.br>**](mailto:paragon@paragon.com.br)

MARCELO MORETTI FIORONI es consultor en simulación, Ingeniero Eléctrico, Master en Producción y cursando un programa de Doctorado en Logística. A la fecha ha completado exitosamente casi 150 proyectos en simulación computacional. Co-fundador de PARAGON Tecnología en 1992, la compañía pionera y líder en simulación en América del Sur. Enseña Investigación Operativa y Simulación en Facultades Integradas de San Pablo (FISP). Ha entrenado más de 1.200 profesionales en simulación. Puede ser contactado por email en [**marcelo@paragon.com.br**](mailto:marcelo@paragon.com.br)

DANIEL P. PAZ es consultor en simulación, Ingeniero Industrial de la Universidad Nacional de Rosario y MBA de la Universidad de Barcelona (España). Ha liderado el desarrollo de modelos de simulación en TECHINT, y ha participado en varias iniciativas privadas y públicas vinculadas con el desarrollo tecnológico en Argentina. Puede ser contactado por email en [**<dpaz@paragontech.com.ar>**](mailto:dpaz@paragontech.com.ar)