

# Enunciado TP1: SimOil

## Dominio

Un grupo de alumnos de una facultad quiere colaborar con el Ministerio de Energía de su país para ayudarlo a mejorar los cánones que cobra a empresas privadas a cambio de los permisos de explotación de sus recursos naturales. El grupo de alumnos se propuso la creación de un software capaz de simular la extracción de petróleo y gas de un yacimiento por parte de una empresa, para aproximar la rentabilidad potencial del mismo y poder de esta manera fijar valores de recaudación mínimos en los pliegos de licitación.

## Simulación

El funcionamiento que se desea simular es el que sigue:

Primero que nada las licitaciones son sobre un yacimiento en una región determinada del país, que para simplificar será parcelada en múltiples cuadrados de 1 hectárea (100m x 100m) de superficie. Todas las parcelas comparten un único reservorio con un valor predeterminado inicial de producto en m<sup>3</sup>. Dependiendo del yacimiento, el producto tendrá una composición inicial diferente de agua, gas y petróleo (por ej: 10% agua, 30% gas, 60% petróleo).

En cada parcela puede a lo sumo excavarse un único pozo. Una vez hecho el pozo el producto sale a la superficie sólo por la diferencia de presión (no hay bombas de por medio) y con una fuerza determinada que depende de la parcela donde se hizo (presión inicial de boca de pozo  $P_{bc\ t_0}$ ). El reservorio se encuentra además a una profundidad determinada (en metros) que también depende de cada parcela.

## Pozos

La cantidad de pozos que se quieren realizar en el yacimiento será parámetro de la simulación. Para perforarlos y llegar a la profundidad del reservorio se requiere el uso de equipos de excavación (RIGS) muy complejos y costosos. De acuerdo a su poder de excavación diaria (en metros/día) su costo de alquiler diario varía y una vez alquilada existe un mínimo de días que se debe pagar por la máquina, se use o no. En un día, un RIG sólo puede ser utilizado para excavar un único pozo. Además, dependiendo del modelo consumen diferente cantidad de combustible (litros/día) al ser utilizadas. El combustible obviamente debe ser considerado en los costos. La cantidad máxima de RIGS a utilizarse simultáneamente será parámetro de la simulación.

Otro rasgo a tener en cuenta es que la excavación diaria de los RIGS se ve afectada por el tipo de terreno (o manto geológico único) que tiene cada parcela. Un terreno rocoso puede tener una resistencia a la máquina de un 60%, mientras que en uno arcilloso la máquina puede hasta ir un 10% más rápido.

Una vez terminado el pozo, el producto puede comenzar a extraerse si se decide habilitarlo abriendo su válvula principal. La cantidad POTENCIAL de producto (m<sup>3</sup>) que puede extraerse de un pozo en un día responde a la siguiente fórmula<sup>1</sup>:

$$1) \text{Potencial Vol}_{\text{diario} \times \text{pozo}} = \alpha_1 \left( \frac{P_{bc\ t_i}}{N_{\text{pozos habilitados}}} \right) + \alpha_2 \left( \frac{P_{bc\ t_i}}{N_{\text{pozos habilitados}}} \right)^2$$

<sup>1</sup> La totalidad de fórmulas presentadas en el documento están en desarrollo y podrían cambiar por otras que reflejen mejor la realidad. Tenerlo en mente en el diseño y construcción del simulador.

Los alpha son fijos e ingresan como parámetro de la simulación. Los rangos sugeridos son:

$$\alpha_1 = 0.1 \text{ .. } 0.6 \text{ m}^3/\text{PSIA}$$

$$\alpha_2 = 0.01 \text{ .. } 0.005 \text{ m}^3/\text{PSIA}^2$$

Para cada día se debe decidir si se extrae producto de cada pozo abriendo la válvula o no. El motivo de esto es que habilitar muchos pozos al mismo tiempo puede producir que las presiones de los pozos bajen de forma significativa y por ende se extienda el tiempo necesario para extraer determinada cantidad de producto. Por otro lado, extraer únicamente de un pozo puede requerir demasiado tiempo para llegar a un nivel de producto que justifique la inversión.

Luego de que en un día se extrajese producto de uno o más pozos, la presión de cada uno disminuye. La presión a utilizar al próximo día en la extracción responde al siguiente comportamiento:

$$2) P_{bc\ t_{i+1}} = P_{bc\ t_i} e^{-\beta_i}$$

Que es la presión en boca de pozo en el día i+1, a partir de la presión en el día i. Además el parámetro beta se define como:

$$\beta_i = \frac{0.1 * \left( \frac{Vol_{R_i}}{Vol_R} \right)}{\sqrt[3]{(N_{pozos})^2}}$$

$$Vol_R = 10.000.000 \text{ .. } 1.000.000.000 \text{ m}^3$$

Donde  $Vol_R$  es el volumen total de producto existente en el reservorio antes de su explotación, y  $Vol_{R_i}$  es el volumen total de producto en el reservorio que va quedando luego de i días de explotación.

Como la ecuación de presiones es una fórmula iterativa, debe conocerse el valor inicial de la presión cuando empieza la vida de producción del pozo, que se denomina ( $P_{bc\ t_0}$ ). Esta presión es fija por pozo (o sea por parcela), y el rango inicial podría variar entre:

$$P_{bc\ t_0} = 3000 \text{ .. } 3500 \text{ PSIA}$$

Día a día que se extrae producto, la presión de cada pozo va disminuyendo y la cantidad potencial de  $\text{m}^3$  extraíbles también lo hace.

### Plantas procesadoras

En un día que se abre la válvula de al menos un pozo (no puede abrirse el mismo día que se finalizó su construcción), el producto debe ir hacia algún lugar a través de cañerías. Para ello y en cualquier momento se pueden construir los siguientes tipos de plantas:

**Planta separadoras de producto:** Indefectiblemente todos los pozos deben estar conectados a al menos una de estas plantas. Las mismas se encargan de separar cada  $\text{m}^3$  de producto que reciben, en sus correspondientes componentes de agua, gas y petróleo para así poder luego comercializar estos últimos. Su construcción lleva una determinada cantidad de días (usualmente meses), tiene un costo, y permiten

procesar una cantidad determinada de  $m^3$  de producto diarios. Como todos los pozos se conectan con este tipo de plantas, el tope máximo que se puede extraer de producto por día está limitado por lo que pueden procesar estas plantas por día, independientemente de lo que potencialmente un pozo puede producir siguiendo la fórmula 1. Obviamente una empresa puede construir la cantidad de plantas separadoras que desee para distribuir el volumen total de producto extraído de sus pozos entre todas ellas.

**Tanques de almacenamiento:** Sirven para almacenar  $m^3$  de agua y gas ya separados por las plantas separadoras. El petróleo no se almacena, y se conecta a través de oleoductos (ya construidos) a las destilerías (también preexistentes) que se encargan de su refinamiento y venta (es decir que el petróleo una vez separado por las plantas separadoras se vende). Los tanques tendrán un costo y tiempo de construcción asociados. Además tienen una capacidad máxima. En cualquier día el gas almacenado en estos tanques puede venderse para aumentar la disponibilidad de los mismos a cambio de una suma de dinero. Al igual que las plantas separadoras, los tanques pueden limitar la extracción de producto si no tienen capacidad suficiente. Luego, pueden construirse todos los que sean necesarios.

### Reinyección

Al pasar el tiempo puede suceder que los niveles de extracción y presión empiecen a caer a niveles no aceptables. En boca de pozo existen válvulas midiendo estos valores de forma continua. Para mejorar dichos valores y tener un volumen de producción similar al inicio de explotación, se puede reinyectar en los pozos agua especialmente comprada y traída con camiones hidrantes (costo asociado por  $m^3$  comprado), o el agua y gas almacenados en los tanques. El valor de presión crítica (parámetro) indica cuándo empieza a ser conveniente efectuar una reinyección. La reinyección es por pozo y la presión cambia drásticamente y no se puede calcular a partir de la presión del día anterior. Entonces, el nuevo valor de presión, luego de la reinyección, se calcula como:

$$3) P_{bc \text{ reinyección } t_0} = P_{bc t_0} * \frac{(Vol_R - Vol_{GlobalExtraído} + Vol_{GlobalReinyectado})}{Vol_R}$$

Donde se debe cumplir que :  $Vol_{GlobalReinyectado} < Vol_{GlobalExtraído}$

con volumen global reinyectado siendo la suma del volumen de agua o gas que se reinyecta en todos los pozos que participan o participaron alguna vez de una reinyección, y volumen global extraído el volumen total histórico que se extrajo del reservorio. Cuando se reinyecta con al menos un pozo, ningún otro pozo puede extraer ese día.

Luego de obtener esta nueva presión, y conocer el volumen del reservorio total resultante luego de la reinyección, puede volverse a utilizar la fórmula 1 con estos datos como parámetros de entrada iniciales, para continuar luego con el cálculo del volumen extraído diario, siempre y cuando no haya una nueva reinyección.

Para el caso en que volumen global extraído de producto sea igual al volumen global de reinyección, se recuperan los valores de presión en todos los pozos correspondientes al inicio de la explotación.

Tener en cuenta que al inyectar agua o gas, se modificarán los porcentajes de composición del producto en el reservorio, diluyéndose el petróleo. Con lo que si bien la reinyección aumenta la presión de los pozos, y su potencial volumen de  $m^3$  extraído, no se extraerá la misma proporción de petróleo que al principio. Los nuevos porcentajes de producto ( $\%Pe_f, \%Gas_f, \%Agua_f$ ) en el reservorio, luego de la reinyección de un volumen de agua  $Vol_{GlobalReinyectado}$ , en función de los porcentajes antes de reinyectar ( $\%Pe_i, \%Gas_i, \%Agua_i$ ), serán:

$$4) \%Pe_f = \frac{(\%Pe_i) * (Vol_R - Vol_{GlobalExtraido})}{(Vol_R - Vol_{GlobalExtraido} + Vol_{GlobalReinyectado})}$$

$$\%Gas_f = \frac{(\%Gas_i) * (Vol_R - Vol_{GlobalExtraido})}{(Vol_R - Vol_{GlobalExtraido} + Vol_{GlobalReinyectado})}$$

$$\%Agua_f = \frac{(\%Agua_i) * (Vol_R - Vol_{GlobalExtraido}) + 100 * Vol_{GlobalReinyectado}}{(Vol_R - Vol_{GlobalExtraido} + Vol_{GlobalReinyectado})}$$

El agua extraída almacenada no se puede vender como el gas, ni tampoco vaciar en la superficie, ya que está contaminada. Esto implica que el agua almacenada debe utilizarse para la reinyección o para su almacenaje indefinido. Para simplificar, la cantidad máxima de agua o gas que se puede reinyectar por día es lo que almacena el tanque de almacenaje más pequeño construido.

El proceso de reinyección no puede hacerse de forma indefinida. Llega un momento en que la concentración de petróleo baja de determinado valor crítico (dilución crítica) que hace muy compleja y costosa la separación y por tanto el pozo deja de ser rentable (al menos utilizando estos métodos de extracción), y el pozo llega a su fin operativo. Este valor crítico es parámetro, pero típicamente es un 35% de petróleo.

### Equipo de Ingeniería

El que toma absolutamente TODAS las decisiones de qué se hace día a día en el yacimiento es el equipo de ingeniería. En líneas generales se encarga de:

- 1) Determinar en qué parcelas del yacimiento se harán las perforaciones. Por ejemplo, pueden elegir hacerlas en las parcelas que tienen menor profundidad al reservorio, o las que tienen el tipo de terreno más accesible, las que tienen mayor presión inicial, una combinación de las tres anteriores, etc...
- 2) Determinar en qué momento se excavan los pozos, utilizando cuántos RIGS de forma simultánea, y en qué momento se construyen las diferentes plantas/tanques. Por ej. pueden elegir hacer todos los pozos lo antes posible utilizando la máxima cantidad de RIGS de forma simultánea o por el contrario, hacerlos del menos profundo al más profundo, con una diferencia de tiempo entre pozo y pozo de 6 meses. Con respecto a la construcción de las plantas/tanques, podrían elegir por construirlas por demanda (día a día: a medida que se necesitan) o podrían elegir por construir una cantidad determinada de cada tipo desde el principio y no construir nunca más nada, etc...
- 3) Decidir cuántos pozos de los disponibles se usan para extraer producto día a día. Por ej. todos los disponibles, o de los n que tengan mayor presión en un día dado, o incluso de manera aleatoria.
- 4) Determinar cuándo reinyectar y cuánto: Por ej. que cuando se llega a la presión crítica de un pozo se reinyecta todo lo que se posea de agua y gas almacenado hasta que se alcance un valor de presión esperado (o se agoten los tanques) o que sólo se reinyecta agua (comprando si es necesario) y el gas siempre se venda de la misma forma que el petróleo, o que se reinyecta todo hasta agotar la mitad de lo almacenado, etc...
- 5) Decidir en qué momento se deja de extraer producto (condición de fin). Por ej. hasta que se agota la presión inicial y no se reinyecta, o hasta que se llega a una dilución crítica de m% de petróleo (35% es valor típico de muchos reservorios), o hasta que termine el tiempo de la licitación de ñ años o incluso hasta que se supere un máximo monto de gasto.

## Sobre el simulador

La idea es que pueda ser utilizado por el Ministerio de Energía para estimar el canon total a cobrar en la licitación de un yacimiento. Para ello un equipo del ministerio se encargará de ingresar todos los parámetros que considere realistas para el escenario específico de explotación de un yacimiento, y el simulador le devolverá un Log con todo lo que se debería efectuar día a día en el yacimiento. La simulación termina cuando se alcanza la condición de fin. Todo lo que sucede en el día por ej. “Se extrajeron 300m<sup>3</sup> de producto del pozo 2”, o “se almacenaron 50m<sup>3</sup> de gas en el tanque 5” debería ser logueado. Además del log se pide calcular el costo total del emprendimiento, el dinero total vendido de gas y petróleo, y la ganancia resultante.

Para ello el simulador deberá permitirles ingresar todos los parámetros requeridos explicados en la sección de “Simulación”, tales como el mapa de parcelas del yacimiento, la forma de tomar decisiones del Directorio de Ingeniería, la cantidad máxima de RIGS simultáneos, la cantidad de pozos a construirse, los costos de cada elemento (desde el alquiler de RIGS hasta el valor de venta del petróleo), etc...

Es probable que el equipo del ministerio deba ejecutar varias veces el simulador con diversos parámetros hasta encontrar resultados que lo satisfagan y que puedan utilizar como justificación para la definición del canon de la licitación (**no es objetivo del simulador maximizar la ganancia**) .

## Sobre la entrega del tp

La entrega consiste de:

1. Especificación de los requerimientos funcionales a través de user stories de un potencial product backlog de Scrum. Cada una debe tener su estimación en story points y business value. De las tres stories que considere más importantes incluya también su descripción, descomposición en tareas, estimación en RRHH de las mismas, y criterios de aceptación.
2. Diseño OO y justificación. Se deben entregar todos los diagramas que crean necesarios para explicar correctamente el funcionamiento del diseño del simulador descrito en las secciones anteriores. Esto incluye diagramas de objetos, clases y secuencias/colaboración (junto a sus escenarios). Todas las decisiones deben estar correctamente justificadas, así como las alternativas planteadas y finalmente descartadas. **Importante: Se busca un formato de informe donde se describa y justifique el porqué del diseño presentado. La entrega no son diagramas sueltos sin justificación. Para la resolución de esta parte del TP se busca fuertemente que utilicen los conceptos vistos durante el curso y se corregirá en consecuencia.**
3. Implementación: Junto con el diseño se deberá entregar una demo del simulador. No hay restricciones sobre el lenguaje a utilizar mientras sea un lenguaje orientado a objetos y esté verificado con cada tutor. Este puede vetar un lenguaje/tecnología si no lo considera apropiado. La correspondencia entre el código fuente entregado y el diseño presentado en papel será parte importante de la evaluación. No se requiere interfaz gráfica alguna (si se la construye de forma optativa se puede obtener hasta un 10% de puntos extras). Los valores resultado y el Log pueden ser mostrados por pantalla y/o impresos en un archivo de texto. De forma similar los parámetros de ingreso pueden leerse de archivos o estar fijados con anterioridad en los fuentes (deberían poder modificarse en la defensa a pedido del corrector sin embargo; se recomienda traer preparados sets de datos de prueba). Con respecto a la funcionalidad que se espera del “Equipo de Ingeniería” al menos deben implementar una opción de las presentadas como ejemplo en cada punto (o similares, propuestas por ustedes al tutor), pero debe de poderse apreciar la reinyección en el Log. Obviamente deben ser opciones compatibles entre sí. Como simple ejemplo, “nunca reinyectar” y condición de fin “llegar a una dilución crítica” no son compatibles. Implementar más de una opción por punto otorga hasta un 15% de puntaje extra a la hora de la corrección.

## Fechas Importantes

30/3: Presentación del presente enunciado.

3/4: Contestación de preguntas grupales y generales de enunciado y dominio.

4/5: Entrega (Hasta las 17hs) del punto 1 y preentrega del punto 2. Este último punto consta fundamentalmente de escenarios y diagramas de secuencias/colaboraciones y clases de las funcionalidades con mayor cociente de business value/story points .

29/5: Entrega TP, Informe final con los puntos 1 a 3 + Defensa.

## Consultas del enunciado y dominio del problema

Luego de la clase del 3/4, las dudas **exclusivamente** referidas al enunciado/dominio petrolero deberán realizarse personalmente a Silvina Dengra, Virginia Brassesco y/o Nicolás Rinaldi o por email a [consultastp@isw2.com.ar](mailto:consultastp@isw2.com.ar). Se ignorarán preguntas que no cumplan con los requisitos.

Todo otro tipo de consulta respectiva al tp (diseño, user stories, dudas teóricas, etc...) deben dirigirse al equipo de tutores asignado a cada grupo.

## Criterios de Corrección

La calidad de los informes presentados formará parte de la calificación del TP.

El informe deberá entregarse antes de las 17 hs. Ver con cada tutor si se permite entrega digital o requiere entrega impresa.

Deben **estar presentes todos los integrantes del grupo** para defender el trabajo realizado y responder el impacto ante posibles cambios al modelo. Se debe presentar la demo funcionando. La defensa se puede coordinar en otra fecha distinta a la entrega del informe, coordinar con el tutor.

Especificación funcional + Product backlog + User stories + Seguimiento preentrega diseño	15 % (10% mínimo de aprobación)
Diseño OO y Justificación	50 % (25% mínimo de aprobación)
Calidad del informe entregado	10 %
Defensa + Implementación Demo	25 % (10% mínimo de aprobación)
Opcionales Implementación	Hasta + 25% (el máximo del tp sigue siendo 10)