

PROYECTO DE GRADO

Presentado ante la ilustre UNIVERSIDAD DE LOS ANDES como requisito parcial para
obtener el Título de INGENIERO DE SISTEMAS

UN MODELO SOBRE LA PRODUCCIÓN PETROLERA EN
VENEZUELA

Por

Br. Jesús Ramírez

Tutor: Prof. Vicente Ramírez

Enero 2008



UNIVERSIDAD
DE LOS ANDES
VENEZUELA

©2008 Universidad de Los Andes Mérida, Venezuela

Un modelo sobre la producción petrolera en Venezuela

Br. Jesús Ramírez

Proyecto de Grado — Investigación de Operaciones, 67 páginas

Resumen: El trabajo realizado presenta un modelo de simulación de la producción petrolera en Venezuela, utilizando la metodología de Dinámica de Sistemas. Se estudió la producción petrolera a partir de datos e informaciones publicados por medios de comunicación y distintos organismos que dan referencia sobre la producción y los ingresos petroleros, lo que permitió elaborar una descripción del sistema real presentando conceptos y explicaciones extraídos de la información recolectada, a partir de esta descripción, se construyó un modelo que fue probado. Se evaluaron algunos escenarios, cuyos resultados podrían ser de interés para conocer y entender las distintas situaciones que pudiesen ocurrir o estar ocurriendo en la producción petrolera venezolana.

Palabras clave: Dinámica de Sistemas, modelo macro, producción petrolera

Este trabajo fue procesado en L^AT_EX.

El Proyecto de Grado titulado “**Un modelo sobre la producción petrolera en Venezuela**”, realizado por Br. **Jesús Ramírez**, C.I. N° 15.517.935, fue presentado el día (fecha): 8 de Febrero de 2008, en (lugar): Salón de reuniones EISULA, ante el Jurado evaluador conformado por:

Tutor: Prof. Vicente Ramírez

Jurado: Próf. Herbert Hoeguer

Jurado: Prof. Liliana Capacho

Este proyecto no tiene mención especial.

Índice

Índice de Tablas	viii
Índice de Figuras	ix
1 Introducción	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación	2
1.3 Planteamiento del problema	2
1.4 Objetivos generales y específicos	2
1.4.1 Objetivo general	2
1.4.2 Objetivos específicos	3
1.5 Metodología de trabajo	3
1.6 Marco teórico	4
1.6.1 Dinámica de Sistemas	4
1.6.2 Aplicaciones de la Dinámica de Sistemas	5
1.6.3 Diagramas causales	6
1.6.4 Niveles y Flujos	7
1.6.5 Notación de los diagramas de niveles y flujos	7
1.6.6 Representación matemática de los niveles y los flujos	8
1.6.7 Retroalimentación	9
1.6.8 Estructuras genéricas	10
1.6.9 Estructuras y comportamientos de la Dinámica de Sistemas	11
1.6.10 Integración numérica	11
1.6.11 Retrasos o demoras	14

1.6.12	Herramientas para la Dinámica de Sistemas	15
1.6.13	Modelo macro	15
1.7	Estructura del documento	15
2	Producción petrolera en Venezuela: descripción del sistema real	17
2.1	Actores que integran la producción petrolera en Venezuela	17
2.1.1	Petróleos De Venezuela S.A. (PDVSA)	17
2.1.2	Empresas mixtas	18
2.1.3	La refinación	21
2.2	Localización y distribución de la producción diaria de crudo	22
2.3	Factores que integran la producción petrolera en Venezuela	23
2.3.1	La oferta y demanda petrolera venezolana	23
2.3.2	Precios del petróleo venezolano	24
2.4	Flujo de petrodólares provenientes de la producción	25
2.5	Notas finales	26
3	Producción petrolera en Venezuela: modelo de simulación	27
3.1	Estructura del modelo	28
3.1.1	Producción e ingresos en dólares	28
3.1.2	Acumulación de dólares petroleros	32
3.2	Estimación de los parámetros	33
3.2.1	<i>RESERVAS DESCUBIERTAS ANUALMENTE</i>	34
3.2.2	<i>exploraciónVzla</i>	34
3.2.3	<i>CAPACIDAD PROD</i>	34
3.2.4	<i>fracción ref</i>	34
3.2.5	<i>CAPACIDAD REF</i>	36
3.2.6	<i>crudoExportación</i>	36
3.2.7	<i>fracción petróleo Exportación(fpEx)</i>	36
3.2.8	<i>fG, fJF, fD, fK, fR, fGas, fO</i>	36
3.2.9	<i>petróleoG, petróleoJF, petróleoD, petróleoK, petróleoGas,</i> <i>petróleoO</i>	36
3.2.10	<i>fGex, fJFex, fDex, fKex, fRex, fGasex, fOex</i>	37

3.2.11	<i>PORCENTAJE REGALÍAS E IMPUESTOS Y PORCENTAJE EXCEDENTE</i>	37
3.2.12	<i>importaciones</i>	37
3.2.13	<i>Funciones tipo tabla(PPV)</i>	38
3.3	Notas finales	38
4	Simulación base y validación del modelo	39
4.1	Simulación base	39
4.1.1	<i>Petróleo ReservasVzla</i>	40
4.1.2	<i>InventarioVzla</i>	40
4.1.3	<i>Petróleo Crudo y Petróleo para refinar</i>	41
4.1.4	<i>Productos derivados: Gasolina, Jet Fuel, Destilantes, Kerosene, Residuales, Gases y Otros</i>	42
4.1.5	<i>IngresosRefiandos e IngresosCrudo</i>	45
4.1.6	<i>Pdvsas\$ y Bcv\$</i>	47
4.1.7	<i>Fonden\$</i>	47
4.2	Pruebas hechas al modelo	48
4.2.1	Pruebas de adecuación de límites	48
4.2.2	Pruebas de estructura del modelo	49
4.2.3	Condiciones extremas	50
4.2.4	Análisis de sensibilidad	51
4.3	Notas finales	53
5	Estudio de escenarios	54
5.1	¿Qué podría pasar en el próximo año con los ingresos por petróleo crudo si los precios cambian en un -87%, -65% y 25%?	54
5.2	¿Qué podría pasar con los ingresos petroleros si la cantidad de barriles de petróleo destinados a ser refinados cambian en un -10%, 10% y 25%?	56
5.3	¿Qué podría estar pasando con los ingresos petroleros si la producción es de -23%, -10% y 7%?	57
5.4	¿Qué podría pasar el próximo año con las reservas de petróleo si la exploración cambia en un -10%, 10% y 20%?	59

5.5	¿Qué podría pasar con los ingresos por petróleo crudo si la fracción que divide el petróleo en exportación preferencial y la exportación regular cambian en un -15%, -10% y 5%?	60
5.6	Combinación de los escenarios 5.1 y 5.3	62
5.7	Notas finales	63
6	Conclusiones	64
6.1	Recomendaciones	65
	Bibliografía	66

Índice de Tablas

2.1	Tributos a pagar por las empresas mixtas (IESA, 2007)	19
2.2	Empresas Mixtas (IESA, 2007)	20
2.3	Continuación Empresas Mixtas (IESA, 2007)	21
2.4	Capacidad de Refinación en Venezuela (IESA, 2007)	22
2.5	Producción de crudo por regiones	23
3.1	Parámetros del modelo	35
4.1	Resumen de condiciones extremas	51
4.2	Resumen de resultados del análisis de sensibilidad	52
5.1	Resumen variación de precios y producción	62

Índice de Figuras

1.1	Notación del Diagrama Causal	6
1.2	Notación para diagramas de niveles y flujos	8
1.3	Lazo de retroalimentación positivo. Estructura y comportamiento	9
1.4	Lazo de retroalimentación negativo. Estructura y comportamiento	10
1.5	Interacción de múltiples lazos de retroalimentación	10
1.6	Formas de comportamiento básicas y estructura	12
1.7	Conductas generadas por las estructuras en Dinámica de Sistemas (DAEDALUS, 2007).	13
2.1	Flujo de dólares provenientes de la producción petrolera (BBVA, 2005).	26
3.1	Producción e ingresos.	28
3.2	Distribución de los petrodólares.	32
3.3	Precios del Petróleo Venezolano(PPV)	38
4.1	Reservas de Petróleo descubiertas anual y diariamente	41
4.2	producción diaria	42
4.3	Petróleo Crudo y Petróleo para refinar	43
4.4	Producción de Gasolina y Jet Fuel	44
4.5	Producción de Destilantes y Kerosene	44
4.6	Producción de Residuales y Gases	45
4.7	producción diaria de otros	46
4.8	Ingresos por la producción de productos refinados y crudo	46
4.9	Ingresos a los niveles Pdvsa\$ y Bcv\$	47
4.10	Ingresos al FONDEN	48

4.11	Condiciones extremas para la <i>CAPACIDAD PROD</i>	50
5.1	Escenario 1	55
5.2	Escenario 2	56
5.3	Escenario 3	58
5.4	Escenario 4	59
5.5	Escenario 5	61

Capítulo 1

Introducción

1.1 Antecedentes

Desde las primeras décadas del siglo XX, el petróleo ha jugado un papel decisivo en los destinos de Venezuela. Este recurso ya conocido y empleado por los indígenas precolombinos a partir de los rezumadero o "menes" se convertiría más tarde en el motor impulsador de la economía venezolana y factor primordial de cambios. La importancia del petróleo para Venezuela no sólo reside en su principal fuente de ingresos fiscales sino, además, por ser el energético de mayor uso como rubro de la dinámica interna del país ([Hernández, 1998](#)).

Acerca de la producción petrolera en Venezuela se han realizado diversos estudios económicos, y se siguen haciendo continuamente para analizar las situaciones más recientes y aquellas propuestas por el gobierno que aun no se han llevado a cabo, un ejemplo de ello son los reportes del Banco Provincial llamados Situación donde expertos explican y critican los escenarios económicos en los que se encuentran distintos países latinoamericanos.

En la Universidad de los Andes se realizaron dos Proyectos de Grado uno por Bastidas (2003), en el que se propone un modelo del mercado petrolero mundial y otro hecho por Labrador (2005), sobre estructuras genéricas para regiones productoras y consumidoras de petróleo, ambos proyectos se tomaron en cuenta como referencias para el presente proyecto.

1.2 Justificación

La economía venezolana se basa en la producción petrolera para el desarrollo integral del país, ya que gran parte de las divisas del gobierno provienen directamente de esta industria. Por ello es importante conocer cuál es la dinámica que gira entorno al petróleo en Venezuela. Así, surge la inquietud de desarrollar un modelo en Dinámica de Sistemas para poder entender lo que sucede en este esquema de producción, y cuál sería su comportamiento ante distintos escenarios que se pudiesen presentar.

1.3 Planteamiento del problema

En la producción petrolera venezolana intervienen ciertos elementos que actúan entre sí. Se pretende identificar los componentes esenciales, y establecer las relaciones que los une, para realizar un modelo macro que permita entender la dinámica que se presenta actualmente con respecto a la producción del crudo venezolano.

Aunque se sabe que para tener referencias exactas acerca de lo que ocurre en la industria petrolera venezolana evidentemente implicaría un acercamiento directo a ésta, lo que complica la recolección de información, por lo que tal opción sería difícil de llevar a cabo. Debido a esto, parece interesante explorar las distintas fuentes disponibles que dan cuenta de la producción de petróleo en Venezuela, para formar una percepción de lo que sucede en esta industria.

1.4 Objetivos generales y específicos

1.4.1 Objetivo general

Elaborar un modelo de simulación de la producción petrolera actual en Venezuela a partir de datos e información proveniente de distintas fuentes, principalmente secundarias, utilizando la dinámica de sistemas.

1.4.2 Objetivos específicos

- Identificar las variables y causalidades entre ellas a nivel macro¹ que conforman la estructura de la producción petrolera venezolana actual y su relación con el ingreso en dólares provenientes de su comercialización.
- Estudiar el comportamiento de la estructura de la producción petrolera venezolana.
- Diseñar un modelo de dinámica de sistemas que permita comprender la relación entre los elementos que integran la producción petrolera a través de las variables identificadas.
- Evaluar distintos escenarios que se pudieran presentar en la producción petrolera venezolana.

1.5 Metodología de trabajo

De los pasos generales que se requieren en la elaboración de un modelo de simulación en Dinámica de Sistemas según Forrester (1961) y Sterman (2000), se siguen los siguientes para el desarrollo específico de este modelo:

- Para conocer cómo funciona el sistema de producción petrolera en Venezuela, se recolectó información de los medios de comunicación y otras entidades, y se entrevistó a varios expertos económicos en la materia a los que se les consultó sobre los distintos actores. El producto en este paso fue la descripción de lo que en la literatura de Dinámica de Sistemas se conoce como el sistema real.
- Se elaboró un modelo de simulación de la producción petrolera en Venezuela a partir de la descripción concebida del sistema real. La herramienta a utilizar para ello fue el programa de simulación Vensim, el cual sirve para construir la estructura del modelo y visualizar la dinámica generada por dicha estructura. La herramienta computacional Vensim es un programa, desarrollado

¹Ver marco teórico para su discusión

por Ventana Systems Inc., para iniciarse en el modelado y simulación utilizando los conceptos y el lenguaje de la Dinámica de Sistemas. También permite construir modelos a través de diagramas causales, comparar fácilmente los resultados de distintos experimentos, superponer gráficos de distintas variables, cambiar escalas, períodos de estudio, etc. (Martínez, 2005).

- Se recolectaron los datos de los parámetros que inciden en el desarrollo de la producción petrolera, necesarios para el ajuste del modelo.
- Se validó el modelo con la ayuda del conocimiento de expertos en la materia o con los datos históricos, cuando se encontraron.
- Se realizaron análisis de sensibilidad que permitieron estudiar cómo sería la producción petrolera ante cambios en los parámetros que rigen su desarrollo.
- Se estudiaron distintos escenarios que permitieron visualizar el desarrollo de la producción petrolera bajo distintas condiciones.

1.6 Marco teórico

1.6.1 Dinámica de Sistemas

A lo largo de los años cincuenta comenzó a idearse en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) una destacada metodología de sistemas, la Dinámica de Sistemas. Jay W. Forrester, ingeniero electrónico, había pasado del Laboratorio de Servomecanismos, donde inventó las memorias magnéticas de núcleos de ferrita, al coordinar un gran proyecto de defensa, el sistema SAGE (*Semi-Automatic Ground Equipment*). En la realización de este sistema de alerta en tiempo real se percató de la importancia del enfoque sistémico para concebir y controlar entidades complejas como las que surgen de la interacción de hombres y máquinas. Tras esta experiencia, Forrester pasaría como profesor a la Sloan School of Management del MIT, donde observó que en las empresas se producían fenómenos de retroalimentación que podían ser causa de oscilaciones, igual que sucede en los servomecanismos. De esta forma ideó la Dinámica Industrial, una metodología que permitía construir modelos cibernéticos de

los procesos industriales. La peculiaridad de estos modelos residía en la posibilidad de simular su evolución temporal con la ayuda del computador. Posteriormente aplicaría su metodología a problemas de planificación urbana y la generalizaría para cualquier tipo de sistema continuo, cambiando su denominación por la de Dinámica de Sistemas.

La Dinámica de Sistemas es una metodología para la construcción de modelos de simulación para sistemas complejos, como los que son estudiados por las ciencias sociales, la economía o la ecología.

La Dinámica de Sistemas aplica métodos de sistemas duros, básicamente las ideas de retroalimentación y sistema dinámico, junto con la teoría de modelos en el espacio de estados y procedimientos de análisis numérico. Por tanto, sería una metodología más entre las de sistemas duros. Sin embargo, se enfoca en los problemas no estructurados (blandos), como los que aparecen en los sistemas socioeconómicos.

El objeto de los modelos de Dinámica de Sistemas es llegar a comprender cómo la estructura del sistema es responsable de su comportamiento. Esta comprensión normalmente debe generar un marco favorable para la determinación de las acciones que puedan mejorar el funcionamiento del sistema o resolver los problemas observados. La ventaja de la Dinámica de Sistemas consiste en que estas acciones pueden ser simuladas a bajo costo, con lo que es posible valorar sus resultados sin necesidad de ponerlas en práctica sobre el sistema real ([DAEDALUS, 2007](#)).

La Dinámica de Sistemas es una herramienta poderosa para poder adentrarse en situaciones de complejidad dinámica y políticas de resistencia. De aquí en adelante se describen los aspectos fundamentales de la Dinámica de Sistemas expuestos en ([Sterman, 2000](#)).

1.6.2 Aplicaciones de la Dinámica de Sistemas

La Dinámica de Sistemas ha sido aplicada en aspectos que van desde estrategias corporativas hasta la dinámica de la diabetes, desde la carrera de armas de la guerra fría entre Estados Unidos y Rusia hasta el combate entre el HIV y el sistema inmunológico humano. La Dinámica de Sistemas puede ser aplicada a cualquier sistema dinámico, a cualquier tiempo y escala espacial.

Mucho del arte del modelado de sistemas dinámicos es descubrir y representar

los procesos de retroalimentación, los cuales, junto con las estructuras de niveles y flujos, retrasos, y no linealidades, determinan la dinámica de un sistema.

1.6.3 Diagramas causales

Los diagramas causales son una importante herramienta para representar estructuras de retroalimentación de sistemas. Son de mucha ayuda en las primeras fases del modelado. Un diagrama causal consiste en variables conectadas mediante flechas que denotan las influencias causales entre las variables. Los lazos de retroalimentación importantes también son identificados en el diagrama.

Las variables están relacionadas mediante enlaces causales, denotadas por flechas. A cada enlace causal se le asigna una polaridad positiva o negativa que indica como la variable dependiente cambia cuando la variable independiente cambia, véase la Figura 1.1.



Figura 1.1: Notación del Diagrama Causal

Un enlace positivo significa que si la causa aumenta, el efecto aumenta por encima de lo que hubiese sido, de otra forma y si la causa disminuye el efecto disminuye por debajo de lo que hubiese sido.

Un enlace negativo significa que si la causa aumenta, el efecto disminuye por debajo de lo que hubiese sido, de otra forma y si la causa disminuye, el efecto aumenta por encima de lo que hubiese sido.

Las polaridades de los enlaces describen la estructura del sistema. Estas no describen el comportamiento de las variables. Es decir, ellas describen que pasaría si hubiese un cambio no describen que es lo que de hecho pasa.

Un incremento en la variable causa no significa necesariamente que el efecto

se vaya a incrementar, por dos razones. La primera, una variable a menudo tiene más de una entrada. Para saber que ocurre realmente se necesita saber como están cambiando todas las entradas. La segunda, y más importante, los diagramas causales no distinguen entre niveles y flujos (las acumulaciones de los recursos en el sistema y las tasas de cambio que alteran esos recursos).

Los diagramas causales son útiles en muchas situaciones. Ellos representan las interdependencias y procesos de retroalimentación bastante bien. Son utilizados eficientemente al comenzar el modelado de un proyecto para capturar los modelos mentales.

Sin embargo, los diagramas causales sufren de un número de limitaciones y es fácil abusar de su uso. Una de sus limitaciones más importantes es su inhabilidad para identificar las estructuras de niveles y flujos en los sistemas.

1.6.4 Niveles y Flujos

Los niveles y flujos, junto con la retroalimentación, son los dos conceptos centrales de la teoría de dinámica de sistemas.

Los niveles son acumulaciones. Estos caracterizan el estado del sistema y generan la información en las que se basan las decisiones y las acciones. Los niveles le dan inercia al sistema y le proveen memoria. Los niveles crean retrasos mediante la acumulación de la diferencia entre la entrada y su proceso de salida. Los niveles generan desequilibrio dinámico mediante la descomposición de tasas de flujos.

Los niveles acumulan (integran) sus flujos de entrada menos sus flujos de salida. De forma equivalente, la tasa de cambio de un nivel es el total de sus flujos de entrada menos el total de sus flujos de salida. Así el diagrama de un nivel y un flujo corresponde exactamente al de un sistema de ecuaciones diferenciales o integrales.

1.6.5 Notación de los diagramas de niveles y flujos

La Dinámica de Sistemas usa una notación de diagramas particular para los niveles y los flujos:

- Los niveles son representados por rectángulos.

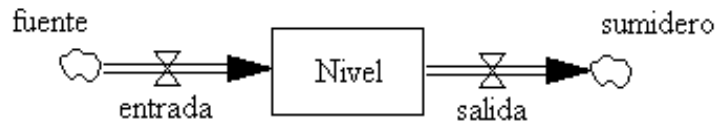


Figura 1.2: Notación para diagramas de niveles y flujos

- Los flujos de entrada son representados mediante una flecha dirigida hacia el nivel.
- Los flujos de salida son representados mediante una flecha que se substraen del nivel.
- Las nubes representan las fuentes y sumideros de los flujos. Una fuente representa el nivel fuera de los límites del modelo del cual se origina un flujo; el sumidero representa el nivel de los flujos que salen de los límites del modelo. Se asume que las fuentes y sumideros tienen infinita capacidad.

La notación utilizada en los diagramas de niveles y flujos se muestra en la figura 1.2.

La notación utilizada en este manuscrito para definir los tipos de variables en el texto y en los diagramas es la siguiente:

- Para identificar los niveles, éstos se escriben en cursivas y en mayúscula la primera letra de cada palabra.
- Para identificar los flujos, variables auxiliares y funciones tipo tabla, éstas se escriben en cursivas y en minúsculas.
- Para identificar las constantes, éstas se escriben en cursivas y en mayúsculas.

1.6.6 Representación matemática de los niveles y los flujos

Los niveles integran sus flujos. El flujo neto hacia el nivel es la tasa de cambio de dicho nivel. La ecuación (1.1) corresponde a un nivel y la ecuación (1.2) corresponde a la tasa de cambio de dicho nivel.

$$Nivel(t) = \int_{t_o}^t [entrada(s) - salida(s)] ds + Nivel(t_o) \quad (1.1)$$

$$\frac{d(Nivel)}{dt} = entrada(t) - salida(t) \quad (1.2)$$

1.6.7 Retroalimentación

Los comportamientos más complejos usualmente nacen de las interacciones entre los componentes del sistema y no de la complejidad de los componentes en si.

Todas las dinámicas nacen de la interacción de dos tipos de lazos de retroalimentación, los positivos (o auto-reforzados) y los negativos (o auto-correctivos).

Los lazos positivos tienden a reforzar o amplificar lo que sea que esté pasando en el sistema. Por ejemplo, en una población mientras más personas haya más nacimientos habrá lo cual nos conduce a un aumento en la población que a su vez nos lleva a mayor cantidad de nacimientos y así sucesivamente, véase la Figura 1.3. Por supuesto que ninguna cantidad real puede crecer para siempre. Debe haber límites para el crecimiento y estos límites son creados por la retroalimentación negativa.

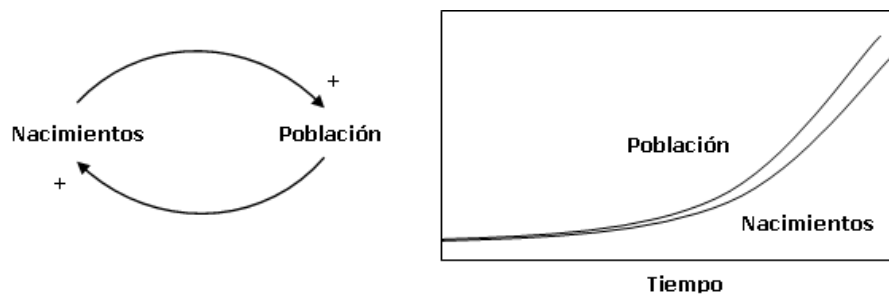


Figura 1.3: Lazo de retroalimentación positivo. Estructura y comportamiento

Los lazos negativos contrarrestan y se oponen al cambio. Por ejemplo, mientras más personas haya más muertes habrá lo cual nos conduce a un decremento en la población que a su vez nos lleva a menor cantidad de muertes y así sucesivamente.

Estos lazos describen procesos que tienden a auto limitarse, procesos que buscan un balance y un equilibrio, véase la Figura 1.4.

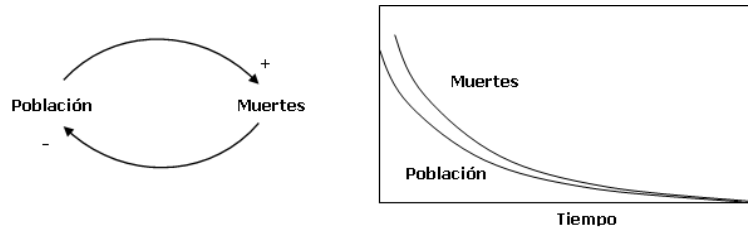


Figura 1.4: Lazo de retroalimentación negativa. Estructura y comportamiento

Todos los sistemas, no importa que tan complejos sean, están constituidos por redes de retroalimentación positiva y negativa y todas las dinámicas nacen de la interacción de estos dos tipos de lazos. Cualquiera de los dos tipos de lazos puede ser bueno o malo dependiendo de que forma esté operando y por supuesto de sus valores.

Aunque solamente haya dos tipos de lazos de retroalimentación los modelos fácilmente pueden contener cientos de lazos, de ambos tipos, apareados unos con otros, con múltiples retrasos, no linealidades y acumulaciones. La dinámica de todos los sistemas nace de las interacciones de estas redes de retroalimentación. La intuición puede ayudar a inferir como es la dinámica de lazos aislados pero cuando múltiples lazos interactúan no es tan fácil determinar como sería la dinámica, véase la Figura 1.5.

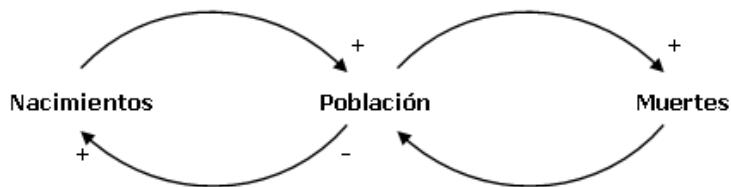


Figura 1.5: Interacción de múltiples lazos de retroalimentación

1.6.8 Estructuras genéricas

Las estructuras genéricas son estructuras relativamente simples que ocurren en diversas situaciones. Por ejemplo, los modelos de la desintegración radioactiva y de muerte de

la población muestran la misma estructura básica. La transferencia de estructuras entre sistemas da al estudio de estructuras genéricas su importancia en la dinámica de sistemas.

El conocimiento acerca de una estructura genérica en un sistema facilita la comprensión del comportamiento de otros sistemas que contienen la misma estructura. El conocimiento de estructuras genéricas y de los comportamientos que ellas generan es transferible a sistemas que nunca han sido estudiados.

Un estudio de estructuras genéricas examina el rango de comportamientos posibles de estructuras particulares. En cada caso, lo que se busca es entender qué en una estructura causa el comportamiento generado.

1.6.9 Estructuras y comportamientos de la Dinámica de Sistemas

La estructura de retroalimentación de un sistema genera su comportamiento. La mayoría de las dinámicas observadas en el mundo real son ejemplo de un pequeño conjunto de patrones básicos o de tipos de comportamiento. Tres de estos tipos son fundamentales: crecimiento exponencial, búsqueda de una meta y la oscilación. Cada uno de estos comportamientos es generado por una estructura de retroalimentación particular. El crecimiento exponencial es generado por procesos de retroalimentación positiva, la búsqueda de una meta es generada por la retroalimentación negativa y la oscilación es generada por la retroalimentación negativa con retrasos. La figura 1.6 muestra estos comportamientos, así como también la estructura que los genera.

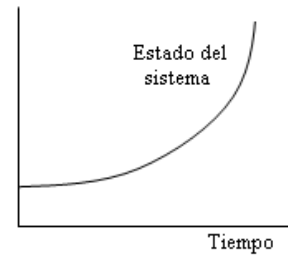
Otros patrones de comportamiento complejos como el crecimiento en S, el crecimiento con sobredisparo, y el sobredisparo y colapso resultan de la interacción no lineal de estas estructuras básicas de retroalimentación. Véase la figura 1.7.

1.6.10 Integración numérica

Los modelos de Dinámica de Sistemas son sistemas de ecuaciones diferenciales ordinarias no lineales. Casi siempre para cualquier modelo que se asemeje a la realidad, es difícil encontrar una solución analítica y el comportamiento de los modelos se calcula



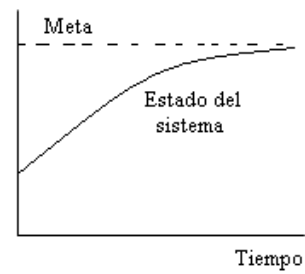
(a) Estructura del crecimiento exponencial



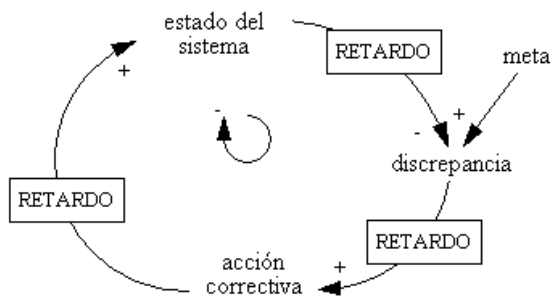
(b) Comportamiento del crecimiento exponencial



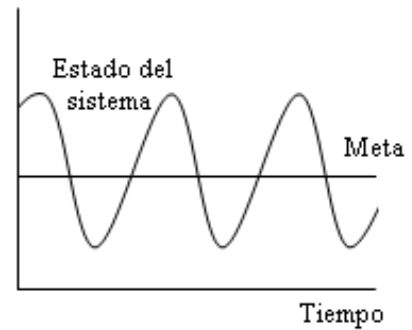
(c) Estructura de la búsqueda de una meta



(d) Comportamiento de la búsqueda de una meta



(e) Estructura de oscilación



(f) Comportamiento de oscilación

Figura 1.6: Formas de comportamiento básicas y estructura

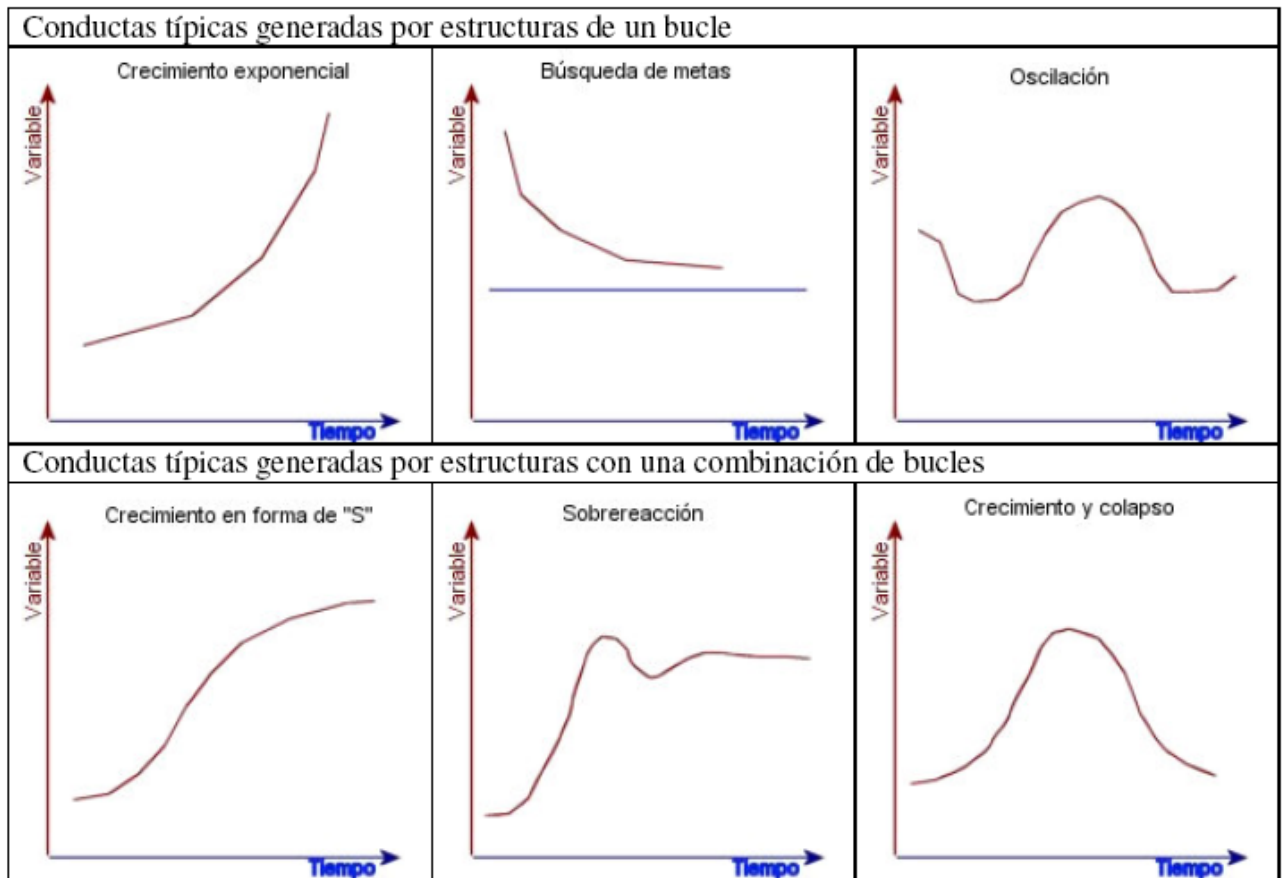


Figura 1.7: Conductas generadas por las estructuras en Dinámica de Sistemas (DAEDALUS, 2007).

numéricamente, mediante un proceso conocido como integración numérica.

Como se describió en 1.6.6 en un modelo los niveles acumulan sus entradas menos sus salidas. En ocasiones los flujos dependen de los niveles, de variables exógenas y de constantes. Las condiciones iniciales se refieren a la cantidad actual en el nivel. La cantidad en el nivel para el instante siguiente será la cantidad del nivel actual, más la cantidad de flujo que entra menos la cantidad de flujo que sale entre el momento actual y el siguiente. Sin embargo, sólo se conoce los valores de los flujos en el instante actual y probablemente no permanecerán constantes para el siguiente. Es por ello que se desea estimar el flujo promedio durante el siguiente instante.

Se supone que las tasas van a permanecer constantes entre el instante actual y el siguiente, esto es razonable si la dinámica del sistema es lo suficientemente lenta y

el intervalo de tiempo es lo suficientemente pequeño. Las definiciones de "razonable" y "suficientemente pequeño" dependen de la exactitud que se requiera. Denotando al intervalo de tiempo entre periodos como dt (Delta del Tiempo) el supuesto anterior implica la ecuación 1.3, conocida como la ecuación de integración de Euler.

$$Nivel(t + dt) = Nivel(t) + dt * (entradas(t) - salidas(t)) \quad (1.3)$$

A medida que el paso de tiempo es más pequeño la exactitud del método de Euler mejora. En el límite, cuando el dt se convierte en un instante de tiempo infinitesimal la ecuación 1.3 se convierte en una ecuación diferencial de tiempo continuo que gobierna la dinámica del sistema. Algunos paquetes de software para Dinámica de Sistemas utilizan el método de integración de Euler por defecto.

La única diferencia entre una solución analítica y numérica de una ecuación diferencial es el tamaño del dt .

1.6.11 Retrasos o demoras

Los retrasos o demoras son una fuente crítica de dinámica en casi todos los sistemas. Algunos retrasos causan peligro y crean inestabilidad y oscilación. Otros ayudan a esclarecer las ideas eliminando variabilidad indeseada y permitiendo a los que toman decisiones separar las señales del ruido.

Toma tiempo medir y reportar información. Toma tiempo tomar decisiones. Y también toma tiempo para que las decisiones afecten el estado del sistema. Un retraso es un proceso donde la salida de alguna forma se retrasa con respecto a la entrada.

Existen dos tipos de retrasos, el primero es conocido como retraso de material, ya que estos representan el flujo físico de materiales a través del proceso de retraso, y existen otros que son una representación gradual del ajuste de las percepciones o creencias, estos son retrasos de información. Generalmente cualquier creencia o percepción involucra un retraso de información ya que no se puede actualizar instantáneamente los modelos mentales con una nueva información recibida.

Todos los retrasos incluyen por lo menos un nivel. Los retrasos de material son conservativos mientras que los de información no lo son. Cada retraso tiene dos

características principales: el tiempo real del retraso y la distribución de la salida del retraso alrededor de un promedio.

1.6.12 Herramientas para la Dinámica de Sistemas

Para el desarrollo y simulación de modelos de Dinámica de Sistemas existen varios paquetes de software entre ellos destacan: Powersim, STELLA, DYNAMO, itthink y Vensim entre otros.

En este caso se utilizó la herramienta computacional Vensim que es un programa desarrollado por Ventana Systems Inc., para iniciarse en el modelado y simulación utilizando los conceptos y el lenguaje de la Dinámica de Sistemas. También permite construir modelos a través de diagramas causales, comparar fácilmente los resultados de distintos experimentos, superponer gráficos de distintas variables, cambiar escalas, etc. (Vensim, 2007).

1.6.13 Modelo macro

Un modelo macro se refiere a una representación general del sistema real utilizando variables agregadas, es decir, es este caso, se toma en cuenta aquellos elementos más esenciales que intervienen en la producción petrolera venezolana a nivel económico, más no se aborda en detalle especificaciones de un sistema de producción petrolero.

1.7 Estructura del documento

Este manuscrito está organizado como sigue:

El capítulo 2 se hace una descripción del sistema real de la producción petrolera en Venezuela, se presentan ciertos conceptos y se explican los elementos que integran el sistema.

El capítulo 3 muestra el modelo de simulación de la producción petrolera en Venezuela, haciendo uso de los diagramas de niveles y flujos y las ecuaciones que definen dicho modelo, así como también el cálculo de los parámetros que lo conforman.

El capítulo 4 discute el comportamiento reflejado por el modelo, en la simulación base. Posteriormente muestra un conjunto de pruebas realizadas al modelo elaborado.

El capítulo 5 analiza el resultado de la simulación de algunos escenarios propuestos en el modelo elaborado.

Al final se muestran las conclusiones del estudio realizado y las recomendaciones surgidas del mismo.

Capítulo 2

Producción petrolera en Venezuela: descripción del sistema real

La producción del petróleo en Venezuela es realizada principalmente por la empresa estatal PDVSA, que trabaja en conjunto con otras empresas trasnacionales para la explotación y excavación del crudo. Las negociaciones de ambas partes se rigen mediante un marco legal donde estas empresas trasnacionales figuran como empresas mixtas que prestan servicios a PDVSA, siendo esta última el único organismo que puede comerciar con el petróleo producido en Venezuela.

2.1 Actores que integran la producción petrolera en Venezuela

2.1.1 Petróleos De Venezuela S.A. (PDVSA)

Es una empresa estatal que se dedica a la exploración, explotación, producción, refinación, petroquímica, mercadeo y transporte del petróleo venezolano. La totalidad de acciones de PDVSA le pertenecen al Estado venezolano y se encuentra adscrita al Ministerio de Energía y Petróleo(MENPET). La empresa tiene el monopolio total de los recursos que se encuentren en el subsuelo venezolano y las acciones de la empresa no pueden ser vendidas a particulares, aunque la empresa se puede asociar y entregar

concesiones para cualquiera de los servicios con los productos ([Wikipedia, 2007](#)).

PDVSA está subordinada al Estado Venezolano y por lo tanto actúa bajo los lineamientos trazados en los Planes de Desarrollo Nacional y de acuerdo a las políticas, directrices, planes y estrategias para el sector de los hidrocarburos, dictadas por el MENPET ([PDVSA, 2007](#)).

2.1.2 Empresas mixtas

Son empresas de capital compartido entre la Corporación Venezolana del Petróleo, S.A. (CVP) y empresas privadas, tanto nacionales como extranjeras. Con esto se asegura que el Estado, o una entidad de su propiedad, tenga el control de éstas mediante la participación mayoritaria en su capital. Las empresas mixtas están reglamentadas por el acuerdo de la Asamblea Nacional, el proyecto de acta constitutiva y estatutos sociales de la sociedad. Asimismo, están normadas por el Código de Comercio y la Ley Orgánica de Hidrocarburos (LOH) ([IESA, 2007](#)).

Los tributos que tienen que pagar las empresas mixtas se resumen en la tabla [2.1.2](#).

Según la Ley de impuesto sobre la renta (LISLR) la tarifa aplicable a las actividades relacionadas con la explotación petrolera es de 50% de los ingresos netos (LISLR- Artículo 54). Por otro lado, la LOH establece una regalía del 30% de los ingresos brutos. En caso que se demuestre que un yacimiento maduro, de petróleo extrapesado, o de mezcla de bitúmenes de la Faja del Orinoco, no es económicamente explotable con esa regalía, podrá rebajarse, en los dos primeros casos hasta un 20% y en el tercero hasta un $16\frac{2}{3}\%$. El Ejecutivo Nacional está facultado para restituir la regalía, total o parcialmente, hasta alcanzar nuevamente el 30%, cuando se demuestre que la rentabilidad de los proyectos pueda mantenerse bajo dichas condiciones (LOH-Artículo 44) ([IESA, 2007](#)).

Asimismo, la LOH establece que las empresas mixtas deberán cumplir con los impuestos superficiales¹ que equivalen a (100 U.T.) por Km^2 o fracción del mismo. Este impuesto se incrementará en un 2% durante los primeros 5 años y en un 5% en los años subsiguientes. Por otro lado, las empresas mixtas deberán pagar impuestos por

¹Por parte de la extensión superficial otorgada que no estuviere en explotación.

Tabla 2.1: Tributos a pagar por las empresas mixtas (IESA, 2007)

Tributo	Descripción
1. Impuesto sobre la renta (ISLR)	50% de los ingresos netos
2. Impuestos superficiales	100 U.T por Km^2
3. Impuesto al consumo propio	10% precio de venta por m^3 de hidrocarburo utilizado en la producción
4. Regalía 1	30% ingreso bruto (IB). Extrapesado (disminución hasta 20% (petróleo) y $16\frac{2}{3}\%$ (bitúmenes), decisión del Ejecutivo)
5. Regalía 2	3,3% ingreso bruto. Ventaja especial empresa mixta
6. Plan inversión social	1% ingresos antes de impuestos
7. Ventaja especial	50% (IB)-(1)-(2)-(3)-(4)-(5)-(6). Sólo aplica cuando la suma de regalías, impuestos y gastos de inversión social obligatoria son menores al 50% de los IB

el consumo propio de productos derivados producidos y consumidos en las operaciones propias, equivalente al 10% del valor de cada m^3 de los hidrocarburos producidos y consumidos en sus operaciones, calculado sobre el precio de venta al consumidor. En el caso que la venta se haga en el exterior, el MENPET fijará el precio aplicable (LOH-Artículo 48). Adicionalmente, las empresas mixtas deberán pagar una regalía adicional del 3,33%. Un 2,22% destinado a los municipios donde se encuentre el área asignada, y el 1,11% restante para financiar proyectos de desarrollo endógeno en la región. A su vez, estas empresas deberán elaborar e implementar un plan de inversión social, sujeto a aprobación del Ejecutivo Nacional, en el cual deberán invertir el 1% de las utilidades antes de impuesto del ejercicio calendario anterior² (IESA, 2007). En la tabla 2.1.2, se muestra una lista de las empresas mixtas, los socios involucrados y la producción de cada una de ellas.

No está claro, de cómo estos recientes eventos van a influir en la inversión extranjera en el sector petrolero venezolano. La mayoría de las empresas extranjeras han aceptado los cambios de contrato. Entre los factores que pudiesen incidir en las decisiones de las compañías petroleras están el alto precio del barril petrolero, el sostenido crecimiento en la eficiencia de operaciones y la aspiración de tener acceso a las grandes reservas venezolanas. La inversión extranjera en Venezuela, en el futuro, pudiese ser cambiada por compañías petroleras nacionales, como lo que ocurre en la

²Durante el primer año de entrada en vigencia de la norma, dicho monto deberá calcularse con base en las utilidades que la empresa mixta estime.

Tabla 2.2: Empresas Mixtas (IESA, 2007)

Empresa mixta	Socios	Participación	Producción diaria
Petrolera Kaki	CVP	60%	900 B/d
	INEMAKA	22,67%	
	INV POLAR	17,33%	
Petrokariña	CVP	60%	2800 B/d
	PETROBRAS	29,20%	
	INV MATA	10,80%	
Petroven-Bras	CVP	60%	2000 B/d
	PETROBRAS	29,20%	
	COROIL	10,80%	
Petroritupano	CVP	60%	45000 B/d
	PETROBRAS	18%	
	VENEZUELA US	18%	
	COROD	4%	
Petroguárico	CVP	70%	1700 B/d
	TEIKOKU	30%	
Boquerón	CVP	60%	7500 B/d
	BP	26,66%	
	PEI	13,44%	
Petrocuragua	CVP	60%	6000 B/d
	OPEN	12%	
	CIP	28%	
Petrodelta	CVP	60%	19000 B/d
	VINCCLER	40%	
Petronado	CVP	60%	45000 B/d
	CGC	26%	
	BPE	8,36%	
	KNOC	5,64%	
Petroperijá	CVP	60%	1200 B/d
	BP	40%	
Petroregional del Lago	CVP	60%	3600 B/d
	SHELL	40%	
Lagopetrol	CVP	80%	7000 B/d
	HOCOL	17%	
	EHCOPEK	2%	
	CIP II	1%	
Petroboscán	CVP	60%	115000 B/d
	CHEVRON	39,20%	
	INEBOSCAN	0,80%	
Petrocabimas	CVP	60%	6100 B/d
	SUELOPETROL	40%	
Baripetrol	CVP	60%	13600 B/d
	HOCOL	17,5%	
	EHCOPEK	5%	
	CIP II	17,5%	
Petrovenwayuu	CVP	60%	12300 B/d
	PETROBRAS	36%	
	WILLIAMS	4%	

Tabla 2.3: Continuación Empresas Mixtas (IESA, 2007)

Empresa mixta	Socios	Participación	Producción diaria
Petroindependiente	CVP	74,80%	8000 B/d
	CHEVRON	25,20%	
Petrolera Sino-Venezolana	CVP	75%	21000 B/d
	CNPC	25%	
Petrowarao	CVP	60%	6900 B/d
	PERENCO	40%	
Petrocumarebo	CVP	60%	1680 B/d
	VINCCLER	40%	
Petroquiriquire	CVP	60%	30500 B/d
	REPSOL	40%	
Total de barriles diarios			359480 B/d

Faja Petrolífera del Orinoco cuyo proyecto está enfocado en su mayoría hacia compañías nacionales.

2.1.3 La refinación

El petróleo crudo, tal como se extrae del subsuelo, tiene poco uso, por lo que es necesario refinarlo para obtener una serie de derivados que son muy útiles en distintos aspectos, que van desde la simple combustión en una lámpara hasta la fabricación de productos intermedios que, a su vez, son la materia prima para la obtención de otros productos industriales.

En Venezuela se cuenta con seis refinerías y un condominio industrial donde se llevan a cabo procesos de refinación: las refinerías de Amuay-Cardón y Bajo Grande que conforman el Centro de Refinación de Paraguaná (CRP), las refinerías El Palito, Puerto La Cruz, San Roque y el Condominio Industrial de Jose (CIJ) donde se encuentran las empresas mixtas: Cerro Negro (Carabobo), Sincor (Boyacá) y Ameriven (Ayacucho) y la empresa de PDVSA Petrozuata (Junin).

La tabla 2.4 muestra, las cantidades de barriles diarios que son procesados en cada una de estas refinerías.

Tabla 2.4: Capacidad de Refinación en Venezuela (IESA, 2007)

	Refinería	Barriles procesados por día	
CRP	Amuay	490000	762000 B/d
	Cardón	260000	
	Bajo Grande	12000	
	El Palito	140000	140000 B/d
	Puerto La Cruz	200000	200000 B/d
	San Roque	5300	5300 B/d
CIJ	Sincor (Boyacá)	200000	640000 B/d
	Ameriven(Ayacucho)	200000	
	Petrozuata (Junin)	120000	
	Cerro Negro(Carabobo)	120000	
Total Capacidad de Refinación			1747300 B/d

2.2 Localización y distribución de la producción diaria de crudo

El petróleo en Venezuela se encuentra localizado en 6 cuencas, donde éste se explota para luego ser trasladado a las refinerías o a los puertos de exportación. A continuación se muestra la producción proveniente de cuatro fuentes:

- Producción Oriente y Centro Sur (Producción Oriente-CS): Se refiere al petróleo extraído de las cuencas de Oriente, Tuy Cariaco y Apure-Barinas. La primera comprende los estados: Anzoátegui, Monagas, Guárico, Sucre y Delta Amacuro, la segunda se extiende desde Barlovento, en el estado Miranda, hasta el Golfo de Cariaco en Sucre y la última corresponde a la región Centro-Sur, ya que el petróleo extraído en esta zona es enviado a través de un oleoducto a la Refinería del Palito.
- Producción Occidente (Producción O): Representa al petróleo producido en las cuencas del Lago de Maracaibo en el estado de Zulia, y la cuenca del estado Falcón, la mayor parte del crudo de esta región es refinado en el Centro de Refinación de Paraguaná (CRP).
- Producción Empresas Mixtas (Producción EMixtas): Corresponde a la producción de crudo proveniente de las distintas empresas mixtas ubicadas en todo el país.

Tabla 2.5: Producción de crudo por regiones

Región	Producción B/d
Oriente	1.310.000
Centro Sur	79.000
Occidente	935.000
Faja del Orinoco	482.000
Empresas mixtas	360.000

- Producción Faja Petrolifera del Orinoco (Producción FPO): Se refiere al petróleo procedente de la Faja petrolífera del Orinoco, con la particularidad de que para que este tipo de crudo se tome como parte de la producción nacional, primeramente debe ser refinado en el Condominio Industrial de Jose (CIJ), ya que es extra-pesado (de 8 a 9 grados API), y luego es transformado en un tipo de crudo mediano-liviano que si es competitivo en el mercado.

Según la capacidad de refinación, se procesa cierta cantidad de barriles de petróleo por refinería, para generar nuevos productos utilizados en la industria. Entre estos tenemos: Gasolina, jet fuel, destilantes, kerosene, residuales, gases y otros. Una porción de dichos productos es para el consumo interno del país (alrededor del 47%) y el resto se exporta.

Existen dos tipos de exportaciones, a aquellos países a los que se les vende el petróleo y sus derivados a precios del mercado, y otra minoría a precios preferenciales, por distintos acuerdos latinoamericanos (como el Pacto de San José) ó acuerdos de Venezuela con otros países directamente.

2.3 Factores que integran la producción petrolera en Venezuela

2.3.1 La oferta y demanda petrolera venezolana

De acuerdo al *Oil and Gas Journal* (OGJ, 2007) Venezuela posee alrededor 80 millones de barriles de petróleo crudo en reservas probadas³ para el año 2007, las mayores

³Las reservas probadas se definen como aquellas cantidades de petróleo que se estima pueden ser recuperadas en forma económica y con las técnicas disponibles, de acumulaciones conocidas a partir

en Latinoamérica. Venezuela es un proveedor importante de crudo para el mercado mundial: en el 2006 se exportaban 2.2 millones de barriles diarios, siendo el sexto en el mundo, y el mayor en el hemisferio occidental.

El país que importa la mayor cantidad de petróleo venezolano es Estados Unidos. Para el 2006, Estados Unidos importaba alrededor de 1.4 millones de barriles diarios en petróleo y productos derivados de Venezuela, ocho por ciento menos que el año anterior. Las exportaciones hacia los Estados Unidos han venido decayendo, principalmente en productos derivados (OGJ, 2007).

Además de los Estados Unidos, Venezuela también exporta a otros destinos como el Caribe, Suramérica y Europa, aunque el petróleo exportado al Caribe luego es re-exportado a los Estados Unidos como productos derivados. Uno de los destinos al que se ha incrementado más rápidamente las exportaciones de crudo ha sido China. En el 2006, China importó alrededor de 80 mil barriles diarios de Venezuela, en comparación con 39 mil barriles para el año 2005. En los últimos años, Venezuela le ha dado prioridad a diversificar los destinos a dónde enviar petróleo a parte de los Estados Unidos, aunque Norteamérica probablemente siga siendo el mercado más importante para Venezuela para el futuro previsible.

2.3.2 Precios del petróleo venezolano

En el mercado petrolero existen una gran variedad de crudos, y el precio para cada uno de éstos depende de su calidad frente a los otros, es decir, mientras más liviano sea el petróleo mayor será su valor.

En la actualidad los precios del petróleo han presentado un continuo aumento debido a una creciente demanda frente a unos niveles de producción que no alcanzan a satisfacerla. Además de problemas políticos, geopolíticos y geofísicos, presentes en los países exportadores y el debilitamiento del dólar, en comparación con otras divisas, han generado cierta tensión en el mercado que ha conllevado a un aumento en los precios (OGJ, 2007).

El precio del petróleo venezolano que se toma como referencia es el promedio de los distintos crudos que se producen en la nación, llamado precio de la cesta petrolera de los datos con los que se cuentan en el momento de la evaluación (Wikipedia, 2007).

nacional. Para el 2007 el precio promedio del crudo criollo ha sido de 65,63 \$ el barril y se prevee un aumento progresivo hasta finales de año.

2.4 Flujo de petrodólares provenientes de la producción

La producción de PDVSA, está constituida por la producción propia de la empresa más lo producido por las empresas mixtas, que actúan como prestadoras de servicios.

Hasta el 2005, PDVSA estuvo obligada a vender al Banco Central de Venezuela (BCV)⁴ a cambio de bolívares todos los ingresos en divisas que percibe, con la excepción de lo necesario para realizar sus pagos corrientes a proveedores y acreedores extranjeros. Los correspondientes ingresos en divisas habían constituido la fuente fundamental de acumulación de reservas internacionales del país (en poder del BCV), mientras que con la contraparte en bolívares, PDVSA cubría sus gastos internos operativos, de funcionamiento, de inversión y su aporte al Fisco Nacional, básicamente en la forma de impuesto sobre la renta y regalía petrolera. PDVSA paga la contribución fiscal prevista en la Ley de Presupuesto del Estado, y ante cualquier derivación de sus ingresos por exportación respecto a lo contemplado en la Ley de Presupuesto, se procede a una reestimación de la contribución fiscal y al correspondiente pago adicional a que hubiera lugar (BBVA, 2005).

Apartir del 2005 cualquier monto por el cual los ingresos petroleros excedan lo necesario para cubrir los gastos internos y externos de PDVSA y la contribución fiscal prevista en la Ley Presupuesto del Estado, es transferido íntegramente a un fondo (FONDEN)⁵ a disposición del Ejecutivo Nacional para gastos externos o gastos internos. En el caso de los gastos internos el Ejecutivo deberá vender al BCV a la tasa de cambio oficial los dólares equivalentes al monto de bolívares requeridos. A

⁴El BCV es el que se encarga de distribuir los ingresos percibidos por PDVSA, en dólares o bolívares al organismo que corresponda según sea el caso (BCV, 2007).

⁵El Fondo De Desarrollo Nacional, S.A : El FONDEN está adscrito al Ministerio del Poder Popular para las Finanzas y sus ingresos provienen de de las reservas y del excedente de los ingresos petroleros, los cuales están dirigidos a financiar proyectos de inversión social y productiva en áreas como infraestructura, salud, ambiente, energía, defensa, industrias básicas, educación, agricultura, atención a situaciones especiales y estratégicas (FONDEN, 2007).

continuación se muestra un flujo de los dólares provenientes de la producción petrolera venezolana (BBVA, 2005).

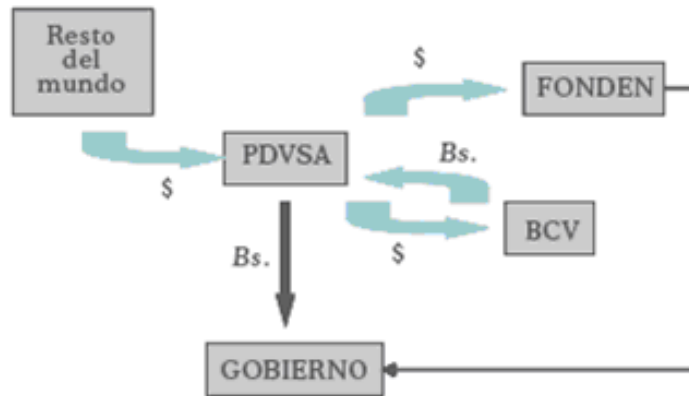


Figura 2.1: Flujo de dólares provenientes de la producción petrolera (BBVA, 2005).

2.5 Notas finales

En este capítulo se hizo una descripción del sistema real, definiendo los elementos esenciales que intervienen en la producción petrolera venezolana. Se explicó la función de la empresa PDVSA, así como también el papel que juegan las empresas mixtas en la producción del crudo. Se estudió sobre la refinación en Venezuela, cuáles son las refinerías existentes en el país y la capacidad de refinación que estas poseen, también se presentaron los factores económicos que intervienen en la industria petrolera y cómo estos influyen en la percepción de ingresos venezolanos por exportación.

Capítulo 3

Producción petrolera en Venezuela: modelo de simulación

A partir de la descripción del sistema real de la producción petrolera en Venezuela, se logró elaborar un modelo de simulación que refleja las características más importantes que lo integran. Dichas características se ven representadas por variables agregadas que muestran de forma general la producción, es decir, se representan los elementos esenciales, más no se abordan especificaciones detalladas de un sistema de producción petrolero.

El modelado del proceso de producción se realizó tomando en cuenta las distintas fuentes de información disponibles, ya que en materia petrolera la información oficial no está al alcance de cualquier ciudadano en Venezuela. Es por ello que, el modelo es una abstracción de las distintas perspectivas, investigaciones y reportes sobre petróleo hechos por diversos organismos. Así mismo, muchos de los parámetros utilizados fueron supuestos o calculados en base a datos correspondientes de años anteriores.

A continuación se presenta la descripción de la estructura del modelo de simulación de la producción petrolera en Venezuela y posteriormente la estimación de los parámetros que lo conforman.

3.1 Estructura del modelo

En el modelo de la producción petrolera en Venezuela se abarca este proceso desde la exploración del crudo, cuánto de lo que se descubre se produce diariamente en el país, cómo se distribuye para las refinerías y exportaciones, los productos que se derivan de éste y los ingresos que se perciben por su comercialización, hasta la distribución del dinero que ingresa a Venezuela proveniente de la renta petrolera. El horizonte de tiempo del modelo es de un año. En lo que sigue se muestra cada uno de los elementos que conforman el modelo, así como también una explicación de las variables que intervienen en el mismo.

3.1.1 Producción e ingresos en dólares

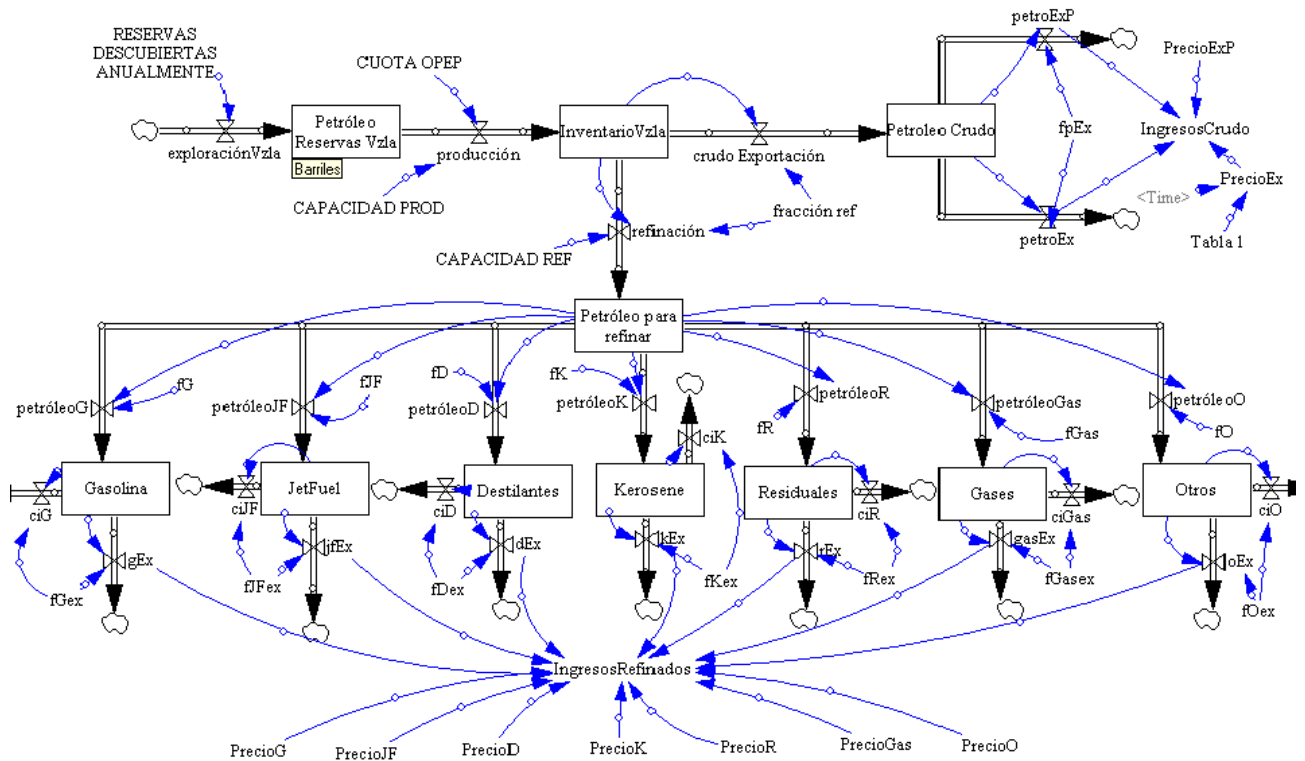


Figura 3.1: Producción e ingresos.

La primera parte del modelo muestra como es el proceso de producción del petróleo, desde la exploración y las cantidades de reservas que se descubren

continuamente para luego ser explotadas y producir la cantidad de crudo que es regulada por la cuota de la OPEP y la capacidad de producción que haya en el país, hasta como se distribuye el petróleo producido en refinerías y exportaciones.

El flujo ¹ *exploraciónVzla* (Barriles diarios)² es calculado apartir del promedio de los últimos diez años de las *RESERVAS DESCUBIERTAS ANUALMENTE* (Barriles) entre 365 días de un año, para obtener la cantidad diaria promedio descubierta que se destinan a un acumulador *Petróleo ReservasVzla* (Barriles), y su condición inicial es el último dato del año 2006 con respecto a la reservas exploradas.

Luego de que el petróleo ha sido descubierto, éste es explotado, generando un flujo de *producción* (Barriles diarios), en el cuál intervienen la constante *CUOTA OPEP*³ (Barriles diarios) y la constante *CAPACIDAD PROD*⁴ (Barriles diarios) tómandose como valor valido el mínimo entre estas dos.

$$producción = \text{MÍNIMO} (CUOTA OPEP, CAPACIDAD PROD) \quad (3.1)$$

El flujo *producción* se acumula en el nivel *InventarioVzla* (Barriles), un nivel ficticio que representa la acumulación total de petróleo producido en un día en Venezuela, creado para mostrar cómo se distribuye el crudo a sus distintos destinos. De éste se generan dos flujos: *refinación* (Barriles diarios) que respresenta la cantidad de barriles asignados a las refinerías, y *crudoExportación* (Barriles diarios) que es la fracción de barriles que se exportan directamente después de ser producidos. Estos dos flujos se ven influenciados por una variable *fracción ref* qué determina que cantidades de barriles están destinados para cada uno de ellos. Al igual que con el flujo *producción* también existe una constante *CAPACIDAD REF* (Barriles diarios) para *refinación* que junto con la variable *fracción ref* establecen la cantidad de barriles que se refinan.

¹También conocido como tasa.

²Siempre que se haga mención a una variable por primera vez se colocarán sus unidades entre paréntesis.

³Valor que la Organización de Países Exportadores de Petróleo estima es la necesaria para satisfacer la demanda.

⁴Constante que indica la capacidad de producir en Venezuela cierta cantidad de crudo.

$$\text{refinación} = \text{MÍNIMO} (\text{CAPACIDAD REF}, \text{fracción ref} * \text{Inventario Vzla}) \quad (3.2)$$

Después se calculan los ingresos brutos que se perciben por la exportación de los disntintos productos derivados y del petróleo crudo.

Como se puede observar en la figura 3.1, los niveles *Petróleo para refinar*(Barriles) y *Petróleo crudo*(Barriles), son acumulados por los flujos *refinación* y *crudoExportación* respectivamente.

El nivel *Petróleo para refinar* se descompone en siete flujos:

- *petróleoG*(Barriles diarios): se refiere a la cantidad de barriles de petróleo que se utilizan para generar el combustible gasolina acumulados en el nivel *Gasolina*(Barriles).
- *petróleoJF*(Barriles diarios): se refiere a la cantidad de barriles de petróleo que se utilizan para generar el combustible jet fuel acumulados en el nivel *JetFuel*(Barriles).
- *petróleoD*(Barriles diarios): se refiere a la cantidad de barriles de petróleo que se utilizan para generar los destilantes acumulados en el nivel *Destilantes*(Barriles).
- *petróleoK*(Barriles diarios): se refiere a la cantidad de barriles de petróleo que se utilizan para generar kerosene acumulados en el nivel *Kerosene*(Barriles).
- *petróleoR*(Barriles diarios): se refiere a la cantidad de barriles de petróleo que se utilizan para generar los residuales acumulados en el nivel *Residuales*(Barriles).
- *petróleoGas*(Barriles diarios): se refiere a la cantidad de barriles de petróleo que se utilizan para generar los gases acumulados en el nivel *Gases*(Barriles).
- *petróleoO*(Barriles diarios): se refiere a la cantidad de barriles de petróleo que se utilizan para generar otros proeductos acumulados en el nivel *Otros*(Barriles).

Cada uno de estos flujos es multiplicado por una fracción supuesta de acuerdo a las porciones de petróleo que se utilizan para generar los productos. Estas fracciones fueron calculadas en base a los datos obtenidos por la AIE⁵ para el año el 2004. Un documento donde se especifica cuánto se exportó de cada rubro a lo largo del año. Aunque en la práctica el cálculo se hace mediante la maximización de una función producción de las demandas en el mercado de estos productos, pero el acceso a ese tipo de información es restringido.

Respectivamente a cada uno de estos niveles se concibe un flujo que representa la fracción de cada uno de estos productos que se exporta, y conjuntamente con el precio de mercado de cada derivado, se calcula la variable *IngresosRefinados*(\$).

$$\begin{aligned}
 \text{IngresosRefinados} = & gEx * \text{PrecioG} + jfEx * \text{PrecioJF} + \\
 & + dEx * \text{PrecioD} + kEx * \text{PrecioK} + rEx * \text{PrecioR} + \\
 & + gasEx * \text{PrecioGas} + oEx * \text{PrecioO}
 \end{aligned}
 \tag{3.3}$$

Paralelamente, del nivel *Petroleo Crudo* se divide en dos corrientes:

- *petroExpP* (Barriles diarios): se refiere a la cantidad de barriles diarios que se venden a precios preferenciales a los países con los que Venezuela ha convenido⁶.
- *petroEx* (Barriles diarios): se refiere a la cantidad de barriles diarios que se venden al precio del mercado.

Al igual que en la ecuación anterior, se calcula la variable *IngresosCrudo*(\$) con los dos flujos anteriores y los precios de petróleo para cada flujo.

$$\begin{aligned}
 \text{IngresosPetroCrudo} = & \text{PrecioExp} * \text{petroExp} + \\
 & + \text{PrecioExpP} * \text{petroExpPreferencial}
 \end{aligned}
 \tag{3.4}$$

⁵Agencia Internacional de Energía

⁶como por ejemplo lo convenido en el Tratado de San José

3.1.2 Acumulación de dólares petroleros

Luego de haber calculado los ingresos por parte de los productos refinados y del crudo exportado se muestra como se distribuyen los dólares recibidos en Venezuela. Véase la figura 3.2.

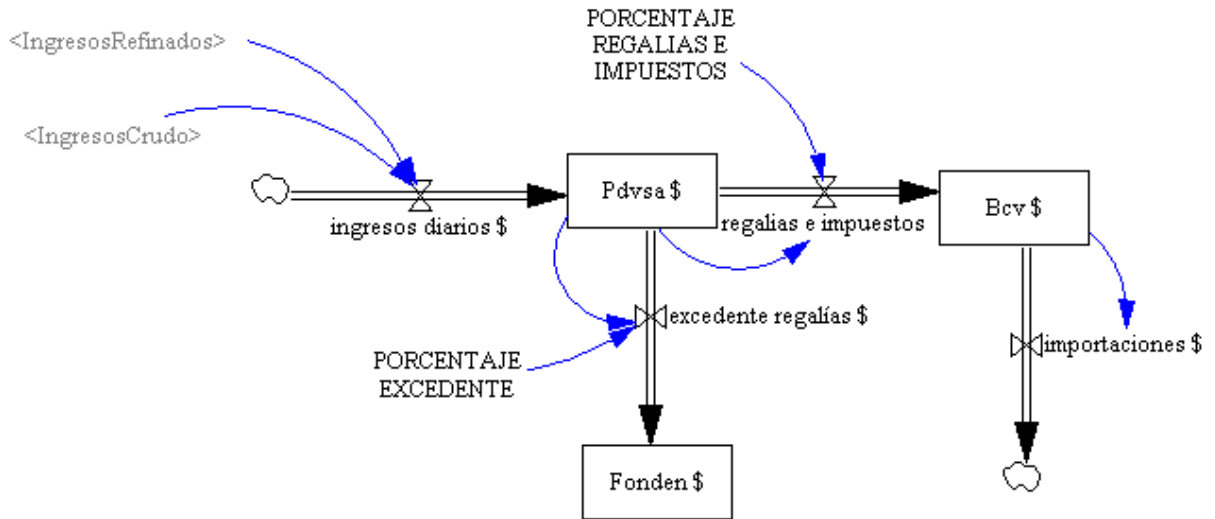


Figura 3.2: Distribución de los petrodólares.

El primer flujo *ingresos diarios*(\$/diarios) es la suma de las variables sombra⁷ *IngresosRefinados*(\$) e *IngresosCrudo*(\$) calculados en la parte anterior.

$$ingresos\ diarios = IngresosCrudo + IngresosRefinados \quad (3.5)$$

Este flujo de dinero se acumula en el nivel *Pdvsas*(\$) que es la única institución petrolera en Venezuela que puede comercializar el crudo nacional. De este nivel surgen dos flujos uno llamado *regalías e impuestos* (\$/diarios), influenciado por la constante *PORCENTAJE REGALÍAS E IMPUESTOS* que representa la fracción de dinero que la empresa

⁷En Vensim para poder utilizar las variables de otras vistas en una nueva, se extraen como se ve en la figura 3.2 para *IngresosCrudo* e *IngresosRefinados* y comúnmente se les llama sombra por el color que el paquete les atribuye.

debe entregar a la nación por impuestos y regalías, y otro flujo llamado *excedente regalías* \$ (\$/diarios) afectado por la constante *PORCENTAJE EXCEDENTE* y se destina al Fondo de Desarrollo Nacional (representado por el nivel *Fonden*\$(\\$)).

$$\text{regalías e impuestos} = \text{PORCENTAJE REGALÍAS E IMPUESTOS} * P_{dusa} \$ \quad (3.6)$$

$$\text{excedente regalías} = \text{PORCENTAJE EXCEDENTE} * P_{dusa} \$ \quad (3.7)$$

El dinero que va al nivel *Bcv*\$(\\$) que representa la institución que distribuye los dólares según lo establecido en la ley, una parte de éste se destina para los importadores, mediante el flujo *importaciones*(\$/diarios).

3.2 Estimación de los parámetros

La estimación de los parámetros que conforman el modelo descrito en la sección 3.1, se muestran a continuación, en el mismo orden con el cual se definieron las variables del modelo. La tabla 3.1 muestra cada uno de los parámetros del mismo. Posteriormente se describe la forma en la cual fueron estimados.

Las estimaciones se llevaron a cabo utilizando la información disponible más reciente, ofrecidas por varios organismos que se dedican a recolectar estadísticas energéticas mundiales o simplemente dar información sobre ciertos aspectos petroleros, por esto las fuentes de donde se tomaron los parámetros son distintas. Para el tiempo de modelado se tomaron los 365 días de un año ya que ésta es una industria de producción continua.

La constante *COUTA OPEP* es estimada según la política que tiene la OPEP para fijar el suministro de petróleo según las necesidades mundiales, ya que el petróleo es un recurso natural no renovable se prevee una producción controlada que asegure la prevalencia del crudo en la tierra el mayor tiempo posible.

La constante *PORCENTAJE REGALÍAS E IMPUESTOS*, se refiere a la acumulación de tributos que la empresa PDVSA debe pagar al Estado venezolano. Sólo el impuesto sobre la renta es del 34% de sus ingresos brutos, el resto que llega hasta el 67% es la suma de regalías y otros impuestos.

La constante *PORCENTAJE EXCEDENTE*, se refiere al porcentaje excedente de las regalías que se destina para la acumulación del nivel *Fonden\$*.

3.2.1 *RESERVAS DESCUBIERTAS ANUALMENTE*

Este parámetro se calculó teniendo como base información dada por la OPEC⁸ de las reservas venezolanas en los últimos 20 años. Se tomó la diferencia de las reservas descubiertas entre cada año y con estas cantidades se calculó un promedio. Por ejemplo: en 1986 contabamos con 55.210 billones de barriles y para 1987 habían 58.101 billones de barriles, es decir durante 1987 se descubrieron 2.58 billones de barriles, y así sucesivamente se hizo hasta al año 2006, y se tomó el promedio de estas diferencias.

3.2.2 *exploración Vzla*

Esta tasa se calcula dividiendo *RESERVAS DESCUBIERTAS ANUALMENTE* entre 365, para determinar cuánto en promedio, se explora por día. Su valor es de 3.531.506 barriles diarios.

3.2.3 *CAPACIDAD PROD*

Esta constante se tomó de un reporte hecho al Ministro de Energía y Minas Rafael Ramírez. En ese reporte se especifica una cuota de 3.3 millones de barriles diarios.

3.2.4 *fracción ref*

Esta fracción se calculó dividiendo la suma de los datos obtenidos de cada refinería entre *COUTA OPEP*. Se obtuvo un valor de 0.3174

⁸Organization of the Petroleum Exporting Countries

Tabla 3.1: Parámetros del modelo

Parámetro	Valor	Unidades
RESERVAS DESCUBIERTAS ANUALMENTE	1.289.000.000	Barriles
exploraciónVzla	3.531.506	Barriles/d
CUOTA OPEP	3.076.380	Barriles/d
CAPACIDAD PROD	3.300.000	Barriles/d
fracción ref	0,3174	sin unidades
refinación	976477	Barriles/d
crudoExportación	2.100.000	Barriles/d
CAPACIDAD REF	1.260.000	Barriles/d
fracción petroleo Exportación (fpEx)	0,833373	sin unidades
petróleo Exportación (petroEx)	1.750.000	Barriles/d
petróleo Exportación Preferencial (petroExP)	350.000	Barriles/d
fracción gasolina (fG)	0,3177	sin unidades
fracción jet fuel (fJF)	0,070	sin unidades
fracción destilantes (fD)	0,2638	sin unidades
fracción kerosene (fK)	0,00042	sin unidades
fracción residuales (fR)	0,2444	sin unidades
fracción gases (fGas)	0,0165	sin unidades
fracción otros (fO)	0,0860	sin unidades
petróleo para gasolina (petróleoG)	310.305	Barriles/d
petróleo para jet fuel (petróleoJF)	69.176	Barriles/d
petróleo para destilantes (petróleoD)	417	Barriles/d
petróleo para kerosene (petróleoK)	257.675	Barriles/d
petróleo para residuales (petróleoR)	238.691	Barriles/d
petróleo para gases (petróleoGas)	16.143	Barriles/d
petróleo para otros (petróleoO)	84.068	Barriles/d
fracción gasolina exportación (fGex)	0,4924	sin unidades
fracción jet fuel exportación (fJFex)	0,8495	sin unidades
fracción destilantes exportación (fDex)	0,5374	sin unidades
fracción kerosene exportación (fKex)	0,000001	sin unidades
fracción residuales exportación (fRex)	0,7804	sin unidades
fracción gases exportación (fGasex)	0,3	sin unidades
fracción otros exportación (fOex)	0,1828	sin unidades
PORCENTAJE REGALÍAS E IMPUESTOS	0.67	sin unidades
PORCENTAJE EXCEDENTE	0.16	sin unidades
importaciones	111.192.400	dólares

3.2.5 *CAPACIDAD REF*

Esta constante se tomó de un reporte anual hecho por la AIE (OGJ, 2007). Alrededor de 1.126 millones barriles diarios.

3.2.6 *crudoExportación*

Esta tasa se tomó del reporte anual del año 2006 ofrecido por la OPEC. Aproximadamente 2.1 millones de barriles diarios.

3.2.7 *fracción petróleo Exportación(fpEx)*

Esta fracción se calculó dividiendo la tasa *crudoExportación* entre la *COUTA OPEP*. Su valor es de 0.833373.

3.2.8 *fG, fJF, fD, fK, fR, fGas, fO*

Las fracciones *fracción gasolina(fG)*, *fracción jet fuel(fJF)*, *fracción destilantes(fD)*, *fracción kerosene(fK)*, *fracción rsiduales(fR)*, *fracción gases(fGas)* y *fracción otros(fO)* se obtuvieron a partir de datos del año 2004 sobre las cantidades de los productos producidos durante ese año en Venezuela, éstos fueron registrados por la AIE y presentados en la página web del DOE⁹, se calculó cada fracción dividiendo la cantidad exportada de cada producto entre la suma total de todos los rubros.

Por ejemplo, ese año se produjeron aproximadamente 361,45 mil barriles de gasolina diariamente. Esta cantidad se dividió entre 1.137,43 mil barriles que representa la suma de todos los productos producidos. La fracción *fG* que se refiere a la gasolina resultó ser de 0.3177.

3.2.9 *petróleoG, petróleoJF, petróleoD, petróleoK, petróleoGas, petróleoO*

Con las fracciones calculadas en la sección anterior, se determinó cada una de las tasas correspondientes a la cantidad de petróleo usado para producir cada producto,

⁹Department Of Energy of USA

mutiplicando estas fracciones por la cantidad de petróleo destinado a las refinarías en el año 2007.

Por ejemplo, para el año 2007 a las refinerías se destinó una cantidad promedio de 976.477 barriles diarios, este valor se multiplicó por 0.3177 para determinar la tasa *petróleoG*, que se refiere a la gasolina producida por día, su valor es de 310.305 barriles aproximadamente.

3.2.10 *fGex, fJFex, fDex, fKex, fRex, fGaseX, fOex*

Las tasas *fracción gasolina exportación*(*fGex*), *fracción jet fuel exportación*(*fJFex*), *fracción destilantes exportación*(*fDex*), *fracción kerosene exportación*(*fKex*), *fracción residuales exportación*(*fRex*), *fracción gases exportación*(*fGaseX*) y *fracción otros exportación*(*fOex*) que corresponden a la porción de cada producto refinado que se exporta, se obtuvieron dividiendo la cantidad de cada producto exportado entre la cantidad producida de cada uno en el año 2004.

Por ejemplo, la cantidad de gasolina exportada diariamente para ese año era de 152.794,54, este valor se dividió entre los 310.305 producidos, y se obtuvo 0.4924 que representa la fracción *fGex*. Al igual que en la sección 3.2.8, los datos sobre los productos exportados se obtuvieron de la misma fuente.

3.2.11 *PORCENTAJE REGALÍAS E IMPUESTOS Y PORCENTAJE EXCEDENTE*

El valor de estas constantes se obtuvieron de la ley de hidrocarburos contenida en la constitución de la República de Venezuela. La primera es de del 67% y la segunda de 16%.

3.2.12 *importaciones*

Esta serie de datos fue publicada por el Ministerio de Finanzas, haciendo referencia acerca de las divisas otorgadas a CADIVI¹⁰ en el año 2006 para la repartición de monedas extranjeras a los venezolanos. Alrededor de 111.192.400 dólares.

¹⁰Comisión de Administración de Divisas

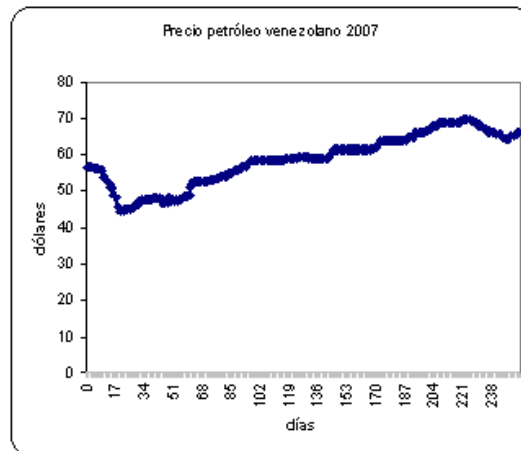


Figura 3.3: Precios del Petróleo Venezolano(PPV)

3.2.13 Funciones tipo tabla(PPV)

La única función tipo tabla que se usó en el modelo es sobre cómo varió el precio del petróleo venezolano¹¹ durante el año 2007 mediante la variable *precioEx*, a esta variable si se le pudo hacer un seguimiento continuo de su comportamiento. Véase la figura 3.3

3.3 Notas finales

La estructura y los parámetros del modelo constituyen una base fundamental para realizar las simulaciones del proceso de producción de petróleo en Venezuela. Muchos de los parámetros se estimaron utilizando la información disponible más reciente aunque esta no haya sido la más actual. También hay parámetros cuyos datos no se pudieron conseguir, por lo que se utilizaron valores únicos extraídos de ciertas fuentes en particular que algún momento ofrecieron algún tipo de información.

¹¹También referido como crudo criollo

Capítulo 4

Simulación base y validación del modelo

En este capítulo se muestran los resultados de la simulación base del modelo descrito previamente. Se discuten dichos resultados y se explica el comportamiento de cada variable de estado. Posteriormente, se llevan a cabo un conjunto de pruebas con la finalidad de evaluar la validez del modelo con respecto a los datos disponibles y verificar su correcto funcionamiento.

4.1 Simulación base

Los datos que dan razón sobre la producción petrolera actual en Venezuela son muy escasos, y los que están al alcance de un ciudadano común carecen de veracidad ya que por motivos políticos quizá se sesguen a una realidad ficticia. Esto se debe a que la información oficial sobre lo que ocurre está restringida.

La unidad de tiempo utilizada en el modelo es el día debido a que esta industria trabaja continuamente y la información acerca de la producción se mide diariamente, la corrida base se realizó para un período de un año. El *PASO DE TIEMPO* para realizar los cálculos es de 0,003125. El método de integración utilizado es el *Runge-Kutta* que es de cuarto orden y disponible en Vensim PLE.

A continuación se lleva a cabo un análisis de cada uno de los gráficos obtenidos

con los datos existentes y con los resultados arrojados por el modelo. Dicho análisis se realiza tomando como referencia las variables de estado (niveles) y dos variables de información que dan cuenta sobre el dinero recibido por las ventas de petróleo crudo y de productos derivados.

4.1.1 *Petróleo Reservas Vzla*

Venezuela contiene grandes reservas de crudo, y éstas son descubiertas cada año en grandes cantidades, gracias a que la tecnología en este ámbito se ha desarrollado notablemente. La mayoría se encuentran situadas en la Faja Petrolífera del Orinoco, se estima una cantidad de 100 a 270 billones de barriles en reservas probables¹, pero las reservas que se toman en cuentan en este estudio son las reservas probadas². Como se señaló en la sección 3.1, la variable *Petróleo Reservas Vzla*, se calcula a partir del flujo *exploración Vzla* que es el promedio de la reservas probadas descubiertas desde el año 1986 hasta el 2006, y este valor se divide entre 365 días para dar razón sobre la exploración diaria en un año.

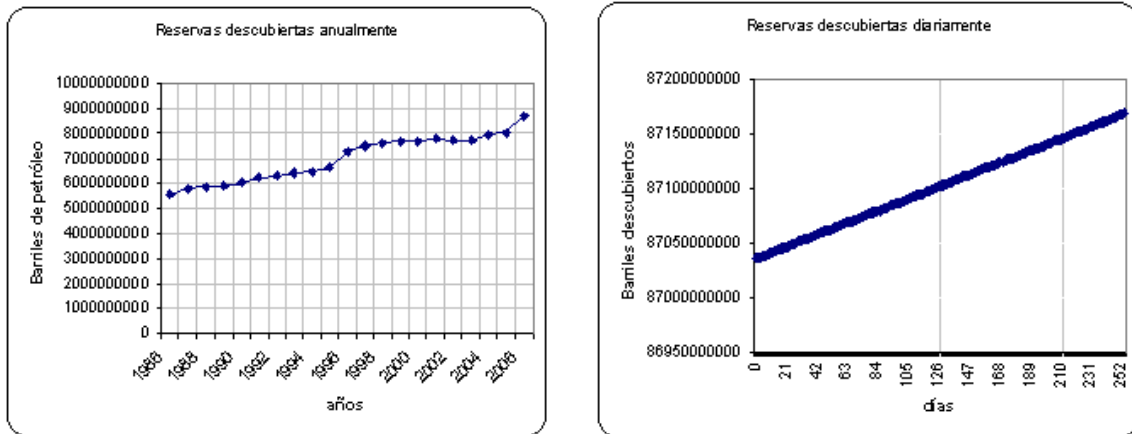
El gráfico 4.1(a) muestra la reservas descubiertas en Venezuela anualmente que va desde 55.521 billones de barriles en 1986 hasta 87.035 billones de barriles en el 2006, y la figura 4.1(b) señala la cantidad de barriles que se debieron haber descubierto en el año 2007 (alrededor de 97.222 billones de barriles), teniendo como base los datos graficados en la figura 4.1(a).

4.1.2 *Inventario Vzla*

La variable *Inventario Vzla* es un nivel que representa la cantidad de barriles que se producen diariamente, está afectada por la tasa *producción* que depende de la *CAPACIDAD PROD* y de la cuota establecida por la OPEP. Su linealidad se debe a que la constante *COUTA OPEP* la afecta directamente, es un valor fijo establecido por la Organización de Países Exportadores de Petróleo para satisfacer una cierta demanda

¹Son aquellas a los que tanto los datos geológicos como de ingeniería dan una razonable probabilidad de ser recuperadas de depósitos descubiertos, aunque no en grado tal como para considerarse probadas.

²Son aquellas cantidades de petróleo que se estima pueden ser recuperadas en forma económica y con las técnicas disponibles, de acumulaciones conocidas a partir de los datos con que se cuentan en el momento de la evaluación.



(a) Datos reales

(b) Resultados del modelo

Figura 4.1: Reservas de Petróleo descubiertas anual y diariamente

y este valor se mantuvo durante todo el año 2007, suponiendo que la capacidad de producción en el país es mayor a esta cuota según lo reportado por el MENPET, ya que el flujo *producción* representa el mínimo entre la cuota y la capacidad de producción.

Como se observa en la figura 4.2 la producción de barriles diarios es de 3.1 millones de barriles diarios (mbd). Esta variable no se compara con datos reales porque el acceso a este tipo de información es restringido. Sin embargo, se utilizaron cifras expresadas por el MENPET para la simulación.

4.1.3 *Petróleo Crudo y Petróleo para refinar*

Estas dos variables muestran como se divide la producción de petróleo, ya que una parte se destina a las refinerías para generar los productos derivados del crudo, y la otra se exporta directamente. Una es complemento de la otra y ambas se determinan mediante la multiplicación de la variable *fracción de prod* por las tasas que las acumulan. Al igual que la variable anterior estas dos también son lineales.

Como se observa en la figura 3.1 la variable *Petróleo para refinar*, también está influenciada por la constante *CAPACIDAD REF*, que comparándola con la fracción que divide *InventariVzla*, se escoge el valor mínimo entre ambas. Las figuras 4.3(a) y 4.3(b) muestran la cantidad de barriles que va directamente a cada una de estas

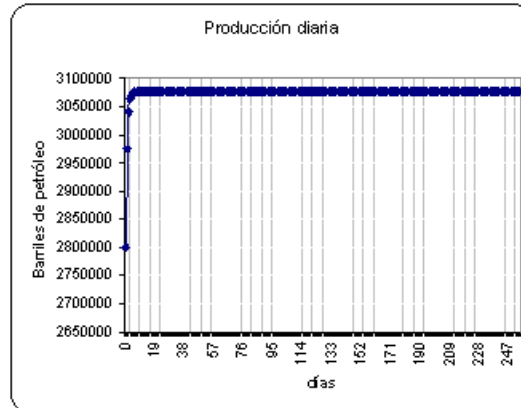


Figura 4.2: producción diaria

variables.

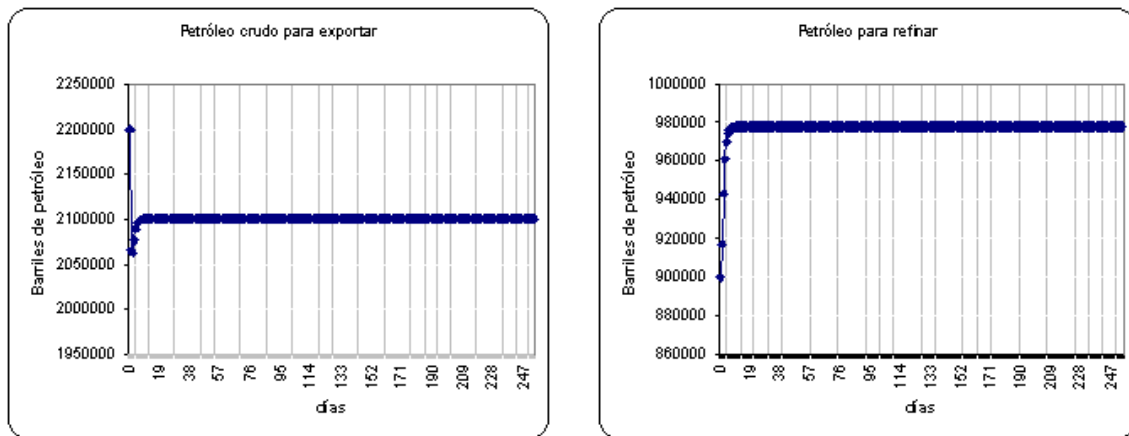
La variable *Petróleo Crudo* refleja que alrededor de 2.1 mbd se exportan por esta vía, mientras que la variable *Petróleo para refinar* es de 980 mil barriles diarios aproximadamente.

4.1.4 *Productos derivados: Gasolina, Jet Fuel, Destilantes, Kerosene, Residuales, Gases y Otros*

Como se vislumbra en la sección 3.1 dentro el modelo de simulación se distinguen siete flujos que se derivan del nivel *Petróleo para refinar* cada uno de estos flujos representa una fracción distinta de petróleo destinado a la producción de estos rubros.

Las fracciones fueron calculadas en base a datos del año 2004, aunque en la realidad esto varía dependiendo de una función de maximización de ganancias, que utilizando la programación lineal como herramienta y las demandas de cada uno de los productos como datos para determinar los coeficientes que integran la función, se obtiene de forma óptima cuánto petróleo debe destinarse para la producción de cada uno de ellos. Se hizo de esta manera porque son valores promedios que dan referencia sobre la producción anual de los productos derivados del petróleo.

A continuación se muestran las gráficas que se generaron a partir de la simulación hecha del modelo. En la figura 4.4(a) se puede ver que la cantidad de gasolina producida diariamente es de 310 mil barriles diarios. Es el producto de mayor



(a) Petr6leo Crudo

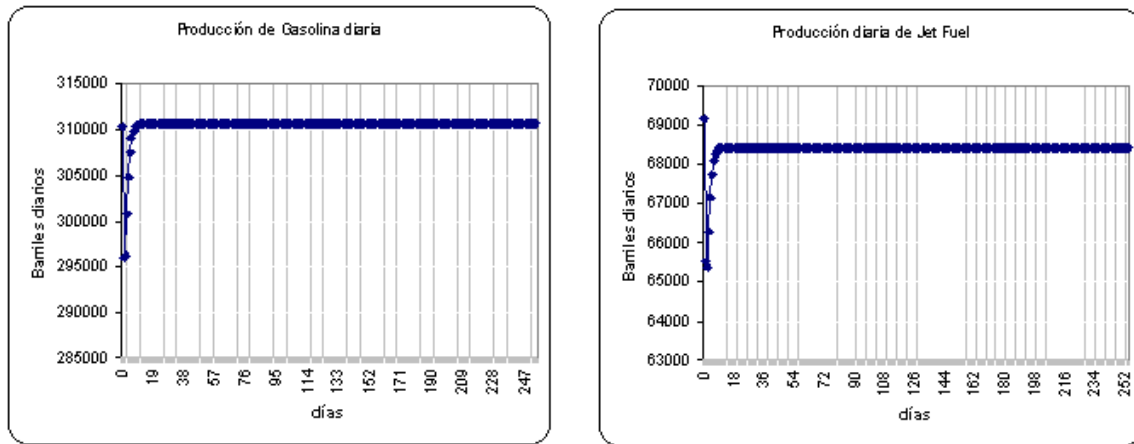
(b) Petr6leo para refinar

Figura 4.3: Petr6leo Crudo y Petr6leo para refinar

importancia comercial y se emplea en su mayoría como combustible para autom6viles, las gasolinas se formulan mezclando principalmente diferentes tipos de naftas, siendo estas 6ltimas fracciones combustibles que provienen de diferentes unidades de refinera (dentro de esta clase se incluyen las gasolinas, gas6leos y naftas), mientras que la producci6n Jet Fuel o combustible para aeronaves es de 68.400 barriles, casi la totalidad de su producci6n se exporta y es uno de los productos m6s caros (V6ase figura 4.4(b)).

Luego se exponen las gr6ficas de destilantes y kerosene respectivamente. En la primera se refleja que la cantidad de destilantes producidos diariamente es de 257 mil barriles diarios y en la segunda se observa que en promedio se crean 410 barriles de kerosene, los cuales casi en su totalidad se consumen en Venezuela, por lo tanto casi no se exporta y lo que se pueda recibir por su venta en el exterior es muy poco.

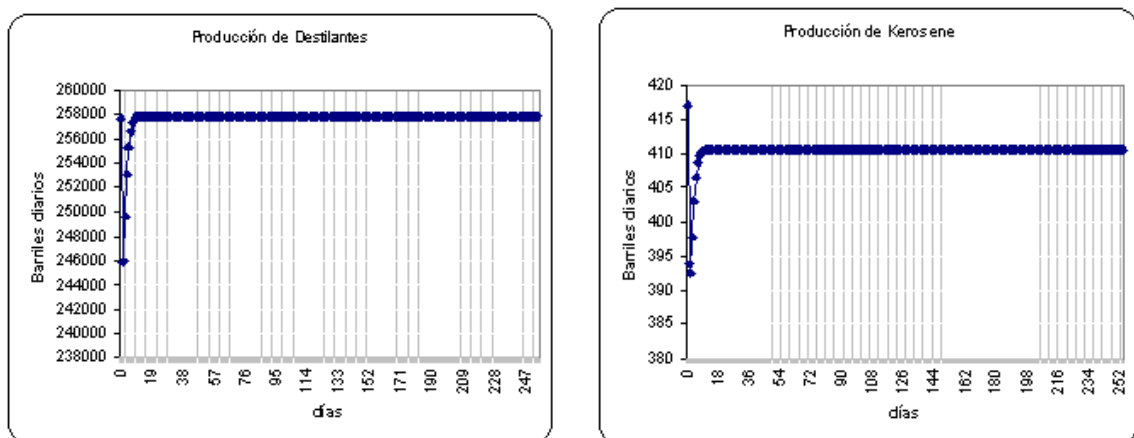
Al igual que con los otros productos se muestran las gr6ficas referentes a los residuales y gases producidos. La figura 4.6(a) refleja que se producen alrededor de 239 mil barriles diarios de residuales. Estos productos se caracterizan por ser los residuos del procesamiento de otros productos, es por ello que sus precios son muy bajos, en algunos casos inferiores a los precios de los crudos de los cuales derivan y se emplean como combustibles para servicios auxiliares. La figura 4.6(b) exhibe la producci6n de gases licuificados, alrededor de 16.100 barriles diarios. Este tipo de gases son muy dif6ciles de procesar lo que hace que su precio sea elevado.



(a) Producción de Gasolina

(b) Producción de Jet Fuel

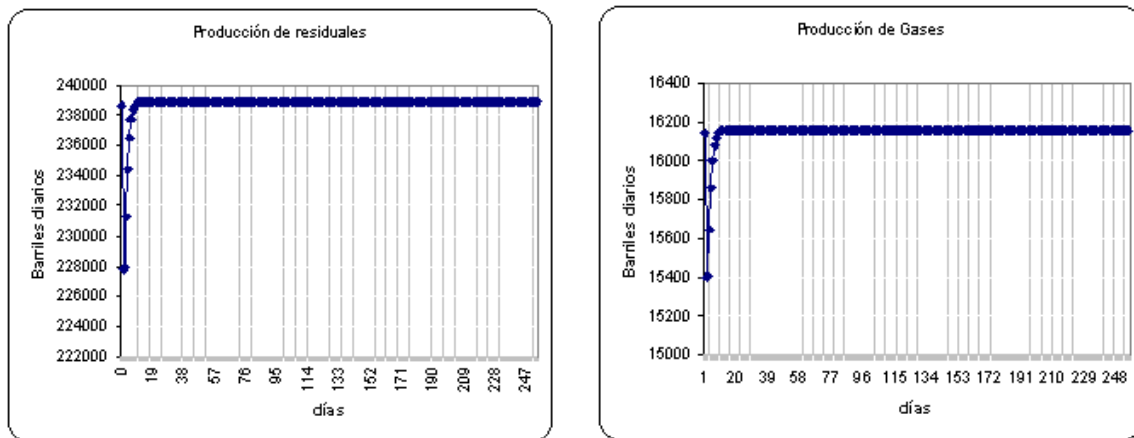
Figura 4.4: Producción de Gasolina y Jet Fuel



(a) Producción de Destilantes

(b) Producción de Kerosene

Figura 4.5: Producción de Destilantes y Kerosene



(a) Producción de Residuales

(b) Producción de Gases

Figura 4.6: Producción de Residuales y Gases

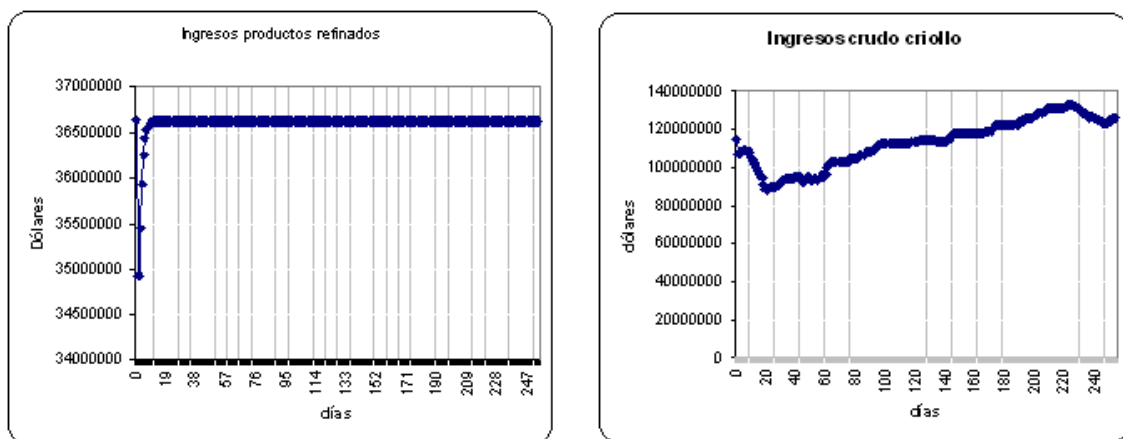
Por último, en el rubro de otros se ven representados productos como el coque, flexicoque, azufre, ceras y parafinas, produciéndose alrededor de 84 mil barriles diarios de una combinación de éstos. Véase figura 4.7.

4.1.5 *IngresosRefiandos e IngresosCrudo*

Estas variables de información muestran los ingresos que se perciben en el país, tanto por la producción de los productos derivados del petróleo como del petróleo crudo. La primera de ellas se calcula multiplicando las tasas de exportación de cada rubro refinado por su precio correspondiente en el mercado. Cada uno de estos precios son variables agregadas de varios productos que se agruparon de forma general en las siete clases presentadas. En la figura 4.8(a) se determina que alrededor de 36.6 millones de dólares se reciben por la venta de éstos. La función es lineal ya que se supone un precio promedio para cada rubro. En contraste con la variable *IngresosCrudo* que se calculó utilizando la tabla *PPV* explicada en la sección 3.2.13 en la que el precio del barril del crudo criollo varió durante todo el año 2007, ya que al precio del barril criollo si se le pudo hacer un seguimiento de su comportamiento afectando directamente la variable de *IngresosCrudo*. Véase figura 4.8(b). Se determinó que aproximadamente 120 millones de dólares se reciben diariamente en promedio, por la exportación del



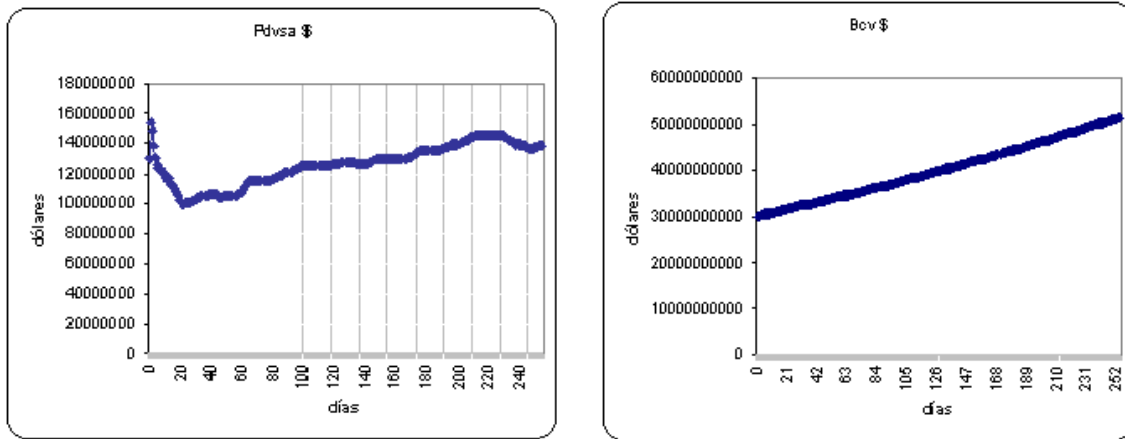
Figura 4.7: producción diaria de otros



(a) Ingresos productos derivados

(b) Ingresos crudo criollo

Figura 4.8: Ingresos por la producción de productos refinados y crudo



(a) Ingresos diarios a PDVSA

(b) Ingresos diarios al BCV

Figura 4.9: Ingresos a los niveles Pdvsa\$ y Bcv\$

petróleo venezolano.

4.1.6 *Pdvsa\$* y *Bcv\$*

La variable *Pdvsa\$* acumula el dinero tanto los ingresos por productos refinados como el del petróleo crudo venezolano en una una sola entidad. La figura 4.9(a) muestra la curva derivada de la suma de las dos gráficas referentes a ingresos, explicadas en sección 4.1.5. Este dinero es recibido por la empresa PDVSA y luego cierto porcentaje pasa al BCV representado en el modelo por el nivel *Bcv\$* y otra porción al FONDEN representado por el nivel *Fonden\$*.

4.1.7 *Fonden\$*

Esta variable representa el Fondo de Desarrollo Nacional, ya que no se toma en cuenta como este fondo se distribuye a las distintas funciones para las que fue creado, es decir no posee tasas que lo desacumulen, se figura un comportamiento exponencial que lo describe en la figura 4.10.

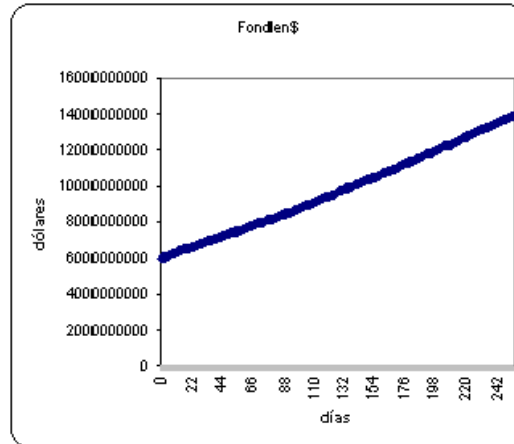


Figura 4.10: Ingresos al FONDEN

4.2 Pruebas hechas al modelo

Existe una amplia variedad de pruebas que permiten validar y verificar un modelo de Dinámica de Sistemas contribuyendo al mejoramiento de su desempeño, entre las cuales destacan (Stermán, 2000):

4.2.1 Pruebas de adecuación de límites

Las pruebas de adecuación de límites tienen como finalidad verificar que los límites del modelo se correspondan con su propósito. Para ello es necesario construir un límite inicial y a partir del mismo estudiar las variables exógenas que pueden ser endógenas y las variables exógenas que pueden variar en el tiempo de acuerdo con el horizonte del modelo. A continuación se describe la aplicación de estas pruebas a cada una de las partes que conforman el modelo en estudio, teniendo en cuenta que dicho horizonte es de un año.

Todas las variables exógenas del modelo han sido consideradas constantes porque se han estimado como promedios en el periodo de tiempo considerado; al aumentar el tiempo de simulación, pudieran variar de la siguiente manera:

- Las *RESERVAS DESCUBIERTAS ANUALMENTE* podría variar dependiendo de las tecnologías utilizadas en la exploración o de la escasez del petróleo.

- La *CAPACIDAD PROD* y la *CUOTA OPEP* son constantes que podrían cambiar, la primera dependería de la explotación del petróleo y la segunda de la demanda de energía insatisfecha que se podría generar por agentes externos³.
- La *CAPACIDAD REF* podría ser variable, actualmente existen proyectos de construcción de nuevas refinerías en Venezuela lo que aumentaría el valor de esta constante.
- El *PORCENTAJE REGALÍAS E IMPUESTOS* y el *PORCENTAJE EXCEDENTE*, son constantes que podrían variar, por la reforma de leyes o por disposiciones políticas.

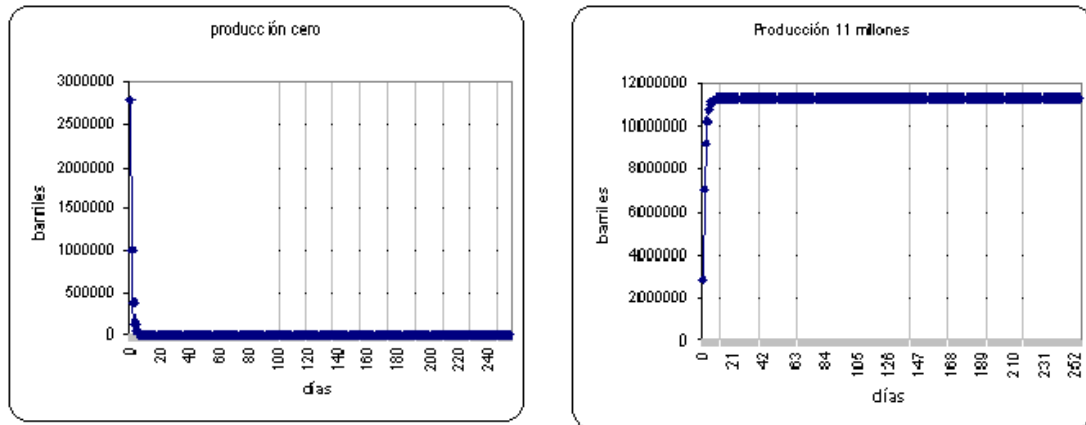
4.2.2 Pruebas de estructura del modelo

Las pruebas de estructura del modelo tienen como finalidad verificar que el modelo considere las características del sistema real relevantes para el propósito del mismo. Para ello es necesario verificar que el nivel de agregación utilizado sea el correcto, constatar que las estructuras presentes en el modelo son suficientes para que el mismo satisfaga su propósito y verificar que se cumpla con las leyes físicas de no negatividad en donde corresponda.

La estructura del modelo para la distribución de la renta petrolera en la figura 3.2, del nivel *Bcv\$* sólo se desprende una corriente correspondiente a las importaciones. En este modelo no se toman en cuenta los ingresos destinados al gobierno nacional debido a que el flujo de dinero que le correspondería a este nivel serían bolívares y no se cumpliría con la conservación de flujos, además que se tendría que tomar en cuenta la generación de la moneda bolívares y las variables que afectarían el desarrollo económico de la nación. Este podría ser tema para futuros estudios.

El flujo *ingresos diarios \$*, es también el resultado de la suma de dos variables de información, *IngresosRefinados* e *IngresosCrudo* creándose un cambio de flujo de barriles de petróleo diarios a dólares diarios.

³conflictos bélicos, paralización de producción en otros países, etc.



(a) Resultados cuando la *CAPACIDAD PROD* es constante igual a cero (b) Resultados cuando la *CAPACIDAD PROD* es constante es 11 millones

Figura 4.11: Condiciones extremas para la *CAPACIDAD PROD*

4.2.3 Condiciones extremas

La prueba de condiciones extremas analiza si el modelo se comporta apropiadamente cuando las entradas toman valores extremos. Pueden ser llevadas a cabo a través de la inspección de las ecuaciones del modelo y a través de la simulación.

Por inspección de las ecuaciones se observó que el modelo sería capaz de reflejar un comportamiento correcto a partir de las condiciones extremas que le pudieran ser impuestas.

Se realizaron las simulaciones variando las constantes del modelo. Para conocer el alcance de éstas, se muestra el estudio sobre una de ellas, la *CAPACIDAD PROD*, la cual se varió entre un valor de cero barriles y 5 millones de barriles. Bajo esta formulación, el estudio arrojó los resultados mostrados en la tabla 4.1:

- *CAPACIDAD PROD* = 0 Barriles, es decir una producción inexistente. Los resultados arrojados por el modelo son correctos donde la variable *Inventario Vzla* muestra que no hay ningún tipo de producción.
- *CAPACIDAD PROD* y *COUTA OPEP* = 11 millones Barriles, es decir una producción mucho mayor a la producción actual. Los resultados y la variable

Tabla 4.1: Resumen de condiciones extremas

Constante	Mínimo	Máximo	Resultados
RESERVAS DESCUBIERTAS ANUALMENTE	0 barriles	11 bbd ⁴	En ambos casos el modelo se ejecuta correctamente.
CAPACIDAD PROD	0 barriles	11 mbd ⁵	En ambos casos el modelo se ejecuta correctamente.
COUTA OPEP	0 barriles	11 mbd	En ambos casos el modelo se ejecuta correctamente.
CAPACIDAD REF	0 barriles	11 mbd	En ambos casos el modelo se ejecuta correctamente.
PORCENTAJE REGALÍAS E IMPUESTOS	0%	100%	En ambos casos el modelo se ejecuta correctamente.
PORCENTAJE EXCEDENTE	0%	100%	En ambos casos el modelo se ejecuta correctamente.

Inventario Vzla reflejan una producción acorde con el cambio de parámetros.

4.2.4 Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad evalúa si los resultados del modelo cambian en forma significativa cuando las suposiciones del mismo, varían dentro del rango de incertidumbre correspondiente a cada parámetro.

Para probar la robustez⁶ del modelo, se realizaron un conjunto de simulaciones variando las distintas constantes que actúan dentro del mismo, en donde el rango de incertidumbre fue asignado en concordancia con los datos estudiados de las distintas fuentes que dan referencia sobre la producción del crudo venezolano.

Los resultados muestran que, en general, el modelo es sensible a variaciones de las constantes. Un resumen de los resultados obtenidos es mostrado en la tabla 4.2, incluyendo el rango de incertidumbre para cada constante y el efecto en las principales variables del modelo. Luego se discuten los resultados.

RESERVAS DESCUBIERTAS ANUALMENTE

Se da una variación en la variable *Petróleo ReservasVzla*, cuando se disminuye la constante el nivel decrece, y cuando la constante aumenta el nivel también lo hace. Como se observa en la tabla 4.2, si esta constante disminuye en un 100%, la variable *Petróleo ReservasVzla* se ve afectada en un -0,19% y si la constante se incrementa en un 100% la variable *Petróleo ReservasVzla* cambia en un 0,57%.

⁶La robustez de un modelo corresponde a su capacidad de adaptarse convenientemente a diferentes datos.

Tabla 4.2: Resumen de resultados del análisis de sensibilidad

Constante	Valores del rango	Porcentaje de cambio	Variable Afectada	Efecto en la variable
RESERVAS DESCUBIERTAS ANUALMENTE	0.675e+009 barriles	-100%	Petróleo	-0,19%
	2.578e+009 barriles	100%	ReservasVzla	0,57%
CAPACIDAD PROD	1.55 mbd	-50%	Inventario	-47,20%
	4.95 mbd	50%	Vzla	0%
CUOTA OPEP	1.53 mbd	-50%	Inventario	-50,25%
	4.61 mbd	50%	Vzla	0%
CAPACIDAD REF	781181 bd	-20%	Petróleo para	-19,83%
	1171772 bd	20%	refinar	0%
PORCENTAJE REGALÍAS E IMPUESTOS	0,57	-10%	Bcv\$	-0,115%
	0,77	10%		0,085%
PORCENTAJE EXCEDENTE	0,0475	-10%	Fonden\$	8,5%
	0,2475	10%		1,77%

CAPACIDAD PROD

Se da una variación en la variable *Inventario Vzla* cuando se disminuye esta constante, mientras que cuando aumenta no ocurre ninguna variación, esto se debe a la dependencia de la función *MÍNIMO* entre esta constante y la *CUOTA OPEP*.

COUTA OPEP

Se da una variación en la variable *Inventario Vzla* cuando se disminuye esta constante, mientras que cuando aumenta no ocurre ninguna variación, esto se debe a la dependencia de la función *MÍNIMO* entre esta constante y la *CAPACIDAD PROD*.

CAPACIDAD REF

Se da una variación en la variable *Petróleo para reifinar* cuando se disminuye esta constante, mientras que cuando aumenta no ocurre ninguna variación, esto se debe a la dependencia de la función *MÍNIMO* entre esta constante y el resultado de la multiplicación entre la *fracción ref* y el *Inventario Vzla*.

PORCENTAJE REGALÍAS E IMPUESTOS

Se da una variación en la variable *Bcv\$*, cuando se disminuye la constante el nivel decrece, y cuando la constante aumenta el nivel también lo hace.

PORCENTAJE EXCEDENTE

Se da una variación en la variable *Fonden*\$, cuando se disminuye la constante el nivel decrece, y cuando la constante aumenta el nivel también lo hace.

4.3 Notas finales

En este capítulo se discutieron los resultados de la simulación base para cada una de las variables que acumulaban algún tipo de recurso, bien sea petróleo o dinero. Se explicó el comportamiento y características de estas variables y se hicieron distintas pruebas al modelo expuesto en el capítulo anterior. Además, se presentaron diferentes recomendaciones para mejorar su desempeño y ampliar sus posibles usos, debido a las restricciones que se tuvieron para obtener la información precisa y adecuada.

Capítulo 5

Estudio de escenarios

La simulación base brinda una visión de la replicación que hace el modelo de la realidad. En el presente capítulo se lleva a cabo un estudio de distintos escenarios de interés que pudieran presentarse en el futuro sobre la producción petrolera en Venezuela. Cada uno de los escenarios evalúa una situación, que variando ciertos parámetros que pudiesen cambiar a lo largo del tiempo, se pueden generar varias perspectivas interesantes a evaluar.

5.1 ¿Qué podría pasar en el próximo año con los ingresos por petróleo crudo si los precios cambian en un -87%, -65% y 25%?

Los precios del crudo cambian constantemente, a lo largo del año 2007 llegó a subir hasta en un 45% desde enero hasta noviembre. El gobierno nacional tenía previsto para el presupuesto de la nación un precio promedio de 23\$ el barril durante todo el año, cuando en realidad el precio promedio fue de 65\$. Ésta variación en los precios hace interesante conocer como cambiarían los ingresos por crudo petrolero dependiendo de las fluctuaciones del precio del barril.

En el mercado petrolero mundial estos precios se rigen por un sin número de factores que hacen casi impredecibles las condiciones futuras del mismo. En Venezuela,

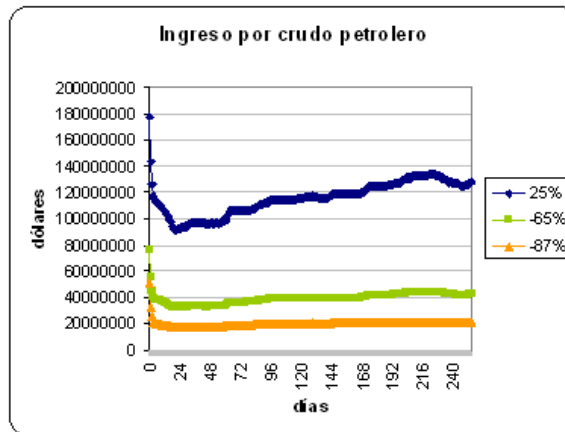


Figura 5.1: Escenario 1

el precio que se toma como referencia es el promedio de los precios de todos los tipos crudos que se venden y es uno de lo más competitivos en el mercado mundial.

Al igual que aumentar los precios también pueden disminuir, por el descubrimiento de nuevas reservas en otras naciones exportadoras, o por el auge de nuevas alternativas de energía que puedan llegar a sustituir el petróleo, como en octubre del 2007 que se descubrieron reservas de etanol en Brasil¹, lo cuál afectó el alza constante que éste había experimentado, a pesar de esto la tendencia es que los precios del crudo sigan en aumento.

Dentro del estudio de escenarios se consideraron tres alternativas para esta situación. La primera de ellas evalúa cómo serían los ingresos por crudo petrolero si éstos disminuyesen en un 87%, se observa en la gráfica 5.1 que en promedio podrían ser 19 millones de dólares, se propuso este escenario ya que para los años 90 el precio del barril petrolero era alrededor de 10\$ y se puede percibir la gran diferencia entre los ingresos actuales y los de esa época, esto pudiera ocurrir si se diera una depresión en la industria petrolera como ocurrió a finales de los años 80 en el mundo. También se propuso el escenario en el que precio disminuyese en un 65% lo que nos mostraría los ingresos si el precio del barril fuese de 23\$ (lo que el gobierno estimaba al inicio de año para el presupuesto del año 2007) estos serían de 39 millones de dólares, y si hablamos

¹Desde mediados de los años setenta Brasil ha trabajado para sustituir la gasolina importada por etanol, un alcohol destilado de la caña de azúcar localmente cultivada. El etanol representa hoy el 40% del combustible vendido en Brasil.

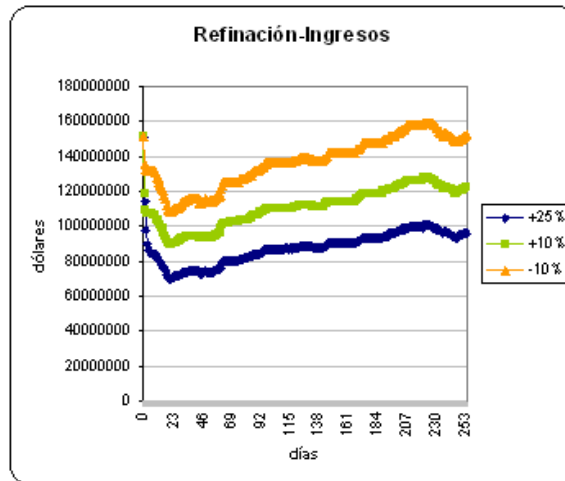


Figura 5.2: Escenario 2

de un aumento del 25% ya que la tendencia en los últimos años es que el precio del crudo se incremente, las cifras pudiesen llegar hasta unos 115 millones de dólares, esto si se mantiene la producción actual.

5.2 ¿Qué podría pasar con los ingresos petroleros si la cantidad de barriles de petróleo destinados a ser refinados cambian en un -10%, 10% y 25%?

En Venezuela se pretenden edificar tres refinerías en los próximos años, el motivo fundamental para llevar a cabo estos proyectos es garantizar el suministro requerido para cumplir con el consumo interno del país.

El consumo energético nacional a medida que han transcurrido los años debido a las altas tasas en la compra de automóviles, proyectos en la creación y reestructuración de vías de comunicación, y por seguridad interna del país ante movimientos desestabilizadores del gobierno, como lo ocurrido en el año 2002 con el paro petrolero, justifican las creaciones de estas nuevas refinerías.

Por ello, parece ser relevante preguntarse cómo podrían verse afectados los ingresos nacionales si se llevaran a cabo estos proyectos.

Según lo que se puede observar en la gráfica 5.2, al parecer se recibiría mayor cantidad de dólares si la fracción de productos derivados del petróleo fuese menor, se refleja que la mayor parte de los ingresos que se perciben es por el petróleo crudo exportado, pero las condiciones en el mercado no se manejan de esta forma, muchos de los países consumidores del crudo venezolano no importan petróleo crudo porque no tienen como procesarlo y convertirlos en combustible que es la razón principal para lo que se usa el petróleo, además que en los últimos años se ha diversificado las naciones a las que se le exporta crudo venezolano, entonces por todo lo antes expuesto podría ser razonable ejecutar estos proyectos de refinación en la nación.

5.3 ¿Qué podría estar pasando con los ingresos petroleros si la producción es de -23%, -10% y 7%?

Existen muchas especulaciones acerca la producción actual en Venezuela. Esto se debe a la falta de información al respecto, varias corrientes emiten cifras muy discrepantes unas de otras, lo que hace difícil conocer la realidad en este ámbito. Con este escenario se pretende mostrar las perspectivas expresadas por las diferentes fuentes.

Para el año 2007 el MENPET expresaba que la producción en Venezuela cumplía con la cuota preestablecida por la OPEP, es más, aseguraba que si esta cuota fuese mayor de igual manera se cumpliría con lo exigido, es decir que la capacidad de producción de crudo estaría por encima de lo producido. Sin embargo, organismos como la AIE reportaban que la producción estaba muy por debajo de lo dicho por el MENPET, argumentaban que el crudo que se producía en Venezuela era de 2.4 millones de barriles diarios y no lo 3.1 millones que el MENPET pronunciaba.

En mayo del 2007 las asociaciones estratégicas que trabajaban en el CIJ², pasaron a ser empresas mixtas, donde la CVP³ pasó a tener el 60% de cada una de estas empresas. Estas refinerías trabajan con el crudo producido de la FPO⁴, que es un

²Condominio Industrial de Jose

³Corporación Venezolana de Petróleo

⁴Faja Petrolífera del Orinoco

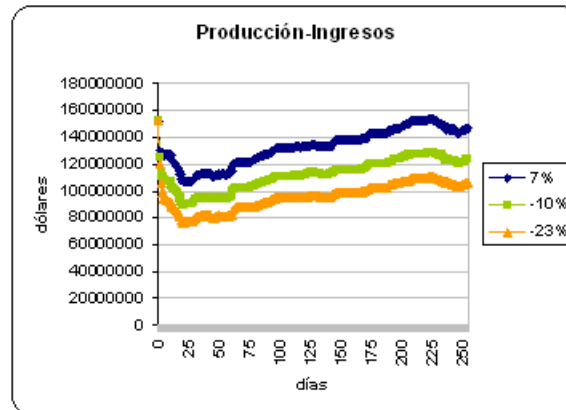


Figura 5.3: Escenario 3

crudo muy pesado, de 8 a 9 grados API. Este tipo de petróleo es llamado bitumen y por sus características originales los organismos de energía no lo toman como parte de la producción nacional, además que antes de mayo del 2007 las asociaciones estratégicas pertenecían en su mayoría a capital extranjero.

Diariamente en la FPO se producen alrededor de 580 mil barriles de bitumen, que luego es refinado en el CIJ del cual se generan alrededor de 430 mil barriles de crudo exportable y de muy buena calidad (de 28 a 32 grados API) y competitivo con los otros crudos producidos en el país. Cuando el MENPET se refiere a la producción nacional incluye el crudo producido en CIJ, mientras que los organismos internacionales no lo hacen. Con las cifras expresadas por el AIE que dan cuenta de la producción nacional sin lo producido en el CIJ, aún sumándole a estos números la producción del CIJ no se cumple con la cuota establecida por la OPEP.

El primer escenario se refiere a cómo serían los ingresos si se aumentara la producción en un 7%, es decir 3.3 millones de barriles, lo cual podría ocurrir si se incrementa la cuota de la OPEP. El segundo escenario es si la producción fuese 10% menor a las cifras oficiales, que serían alrededor de 2.8 millones de barriles, suma de lo reportado por la AIE más lo producido en la FPO, y el último es sobre si la producción fuera como lo argumentan los organismos internacionales de 2.4 millones de barriles.

En la gráfica 5.3, se observa que si se llegara a aumentar la cuota de la OPEP y Venezuela tuviera la capacidad de producción suficiente para asegurarla, en promedio se

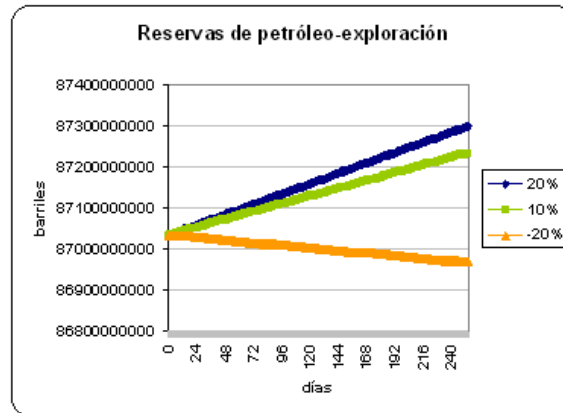


Figura 5.4: Escenario 4

podrían recibir unos ingresos de unos 133 millones de dólares, en cambio si la producción fuese 10% menor a las cifras oficiales se tendrían unos ingresos de 111 millones, y por último si la producción fuera como lo expresa la AIE, se estarían recibiendo alrededor de 96 millones de dólares. Bajo cualquier perspectiva de los escenarios antes mencionados los ingresos son altos, lo cual refleja una época de bonanza en Venezuela influenciado principalmente por los altos precios del crudo.

5.4 ¿Qué podría pasar el próximo año con las reservas de petróleo si la exploración cambia en un -10%, 10% y 20%?

Conocer el nivel de reservas petroleras que posee un país, no sólo es importante para éste, sino para el resto del mundo también, ya que el petróleo es el recurso natural no renovable más utilizado en el planeta para generar energía.

Una de las principales razones para conocer la cantidad de reservas de este recurso es que determina la oferta del mismo, pudiendo influenciar en los precios del mercado. Por ejemplo: cuantas más reservas se descubran, el precio tendería a bajar ya que se crearía un clima tranquilizador entre los países consumidores, entre otras causas.

En países donde la industria petrolera aporta más del 50% del PIB⁵ conocer las reservas permite una planificación adecuada del uso del recurso, lo cual influye en la elaboración de políticas públicas que generan bienestar social. En Venezuela esto se ve reflejado con la creación del FONDEN cuyos recursos provienen del excedente en regalías de los ingresos petroleros y éstos son destinados a la creación de programas sociales como las misiones, el banco de la mujer y el FONDAFA⁶.

Venezuela es uno de los países que cuenta con el mayor número de reservas mundiales de petróleo, después de los países del medio oriente. En los últimos dos años se descubrieron alrededor de 235 mil millones de barriles en la FPO. Si esta cantidad se llega a comprobar, es posible que Venezuela llegase a ser el país con mayores reservas, y el segundo lugar lo ocuparía Arabia Saudita.

En el gráfico 5.4, se muestran tres escenarios en los que varía el grado de exploración actual, los primeros dos reflejan qué cantidades de petróleo se podrían contar como reserva si la exploración se incrementara, si es un 10%, las reservas se mantendrían casi igual a la cantidad actual y en un 20% se podría llegar a casi 88 billones de barriles, en cambio si la exploración disminuyese en un 20% la reservas serían aproximadamente de 86.9 billones de barriles.

5.5 ¿Qué podría pasar con los ingresos por petróleo crudo si la fracción que divide el petróleo en exportación preferencial y la exportación regular cambian en un -15%, -10% y 5%?

Venezuela como país exportador de petróleo en Latinoamérica, está comprometido en asegurarle suministro a aquellos países de la región que no tienen la ventaja comparativa energética que ésta posee.

Debido a la crisis económica constante que viven los países latinoamericanos se crearon ciertos tratados entre estos países, para que Venezuela les probara petróleo a

⁵Producto Interno Bruto

⁶Fondo de desarrollo agropecuario, pesquero, forestal y afines

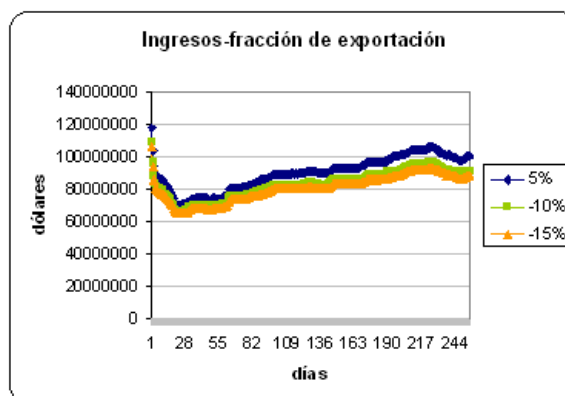


Figura 5.5: Escenario 5

estas naciones con precios y formas de pagos preferenciales a diferencia de los que se rigen el mercado petrolero internacional.

Durante el segundo gobierno de Carlos Andrés Pérez se firmó en Costa Rica el pacto de San José, donde se acordó que México y Venezuela proporcionarían de petróleo a los países centroamericanos bajo las condiciones antes expuestas. Luego durante el primer período del presidente Chávez se crearon otros dos tratados más, uno llamado Petro-Caribe con las naciones caribeñas entre las que destacan Cuba y Haití, y otro con los países del cono sur como Bolivia, Uruguay y Argentina. Estos dos últimos tratados siguen las mismas políticas del primero.

Este escenario muestra en la figura 5.5 como podrían variar los ingresos petroleros si la fracción que divide la exportación preferencial y la exportación regular disminuyese en 15% y 10% o aumentase en un 5%. Los resultados arrojados muestran que las curvas son muy similares y que un cambio de estas magnitudes no produciría un efecto mayor en los ingresos. Esto se debe a que la fracción de crudo que se exporta preferencialmente no es muy grande y aunque el precio al que se vende es menor, igual se perciben beneficios por su comercialización. También, la diferencia entre los porcentajes propuestos no es significativa, (5% entre cada una) ya que se trató de mostrar situaciones que se pudiesen dar, tomando en cuenta las condiciones actuales.

Tabla 5.1: Resumen variación de precios y producción

Producción	Precio	<i>Bcv</i> \$ promedio	Comentario
3.1 millones de barriles diarios	65,63\$	40.9 mil millones de \$	Este escenario se refiere a las condiciones actuales.
3.1 millones de barriles diarios	82\$	43.1 mil millones de \$	Este escenario se refiere a un aumento del 25% en los precios.
2.8 millones de barriles diarios	82\$	41.47 mil millones de \$	Este escenario se refiere a un aumento del 25% en los precios y una disminución en la producción del 10%.
2.8 millones de barriles diarios	49,22\$	37.7 mil millones de \$	Este escenario se refiere a una disminución del 25% en los precios y una disminución en la producción del 10%.
2.8 millones de barriles diarios	30\$	35.04 mil millones de \$	Este escenario se refiere a una disminución del 55% en los precios y una disminución en la producción del 10%.
2.4 millones de barriles diarios	82\$	40.29 mil millones de \$	Este escenario se refiere a un aumento del 25% en los precios y una disminución en la producción del 23%.
2.4 millones de barriles diarios	49,22\$	35.18 mil millones de \$	Este escenario se refiere a una disminución del 25% en los precios y una disminución en la producción del 23%.
2.4 millones de barriles diarios	30\$	34.35 mil millones de \$	Este escenario se refiere a una disminución del 55% en los precios y una disminución en la producción del 23%.
3.3 millones de barriles diarios	82\$	44.03 mil millones de \$	Este escenario se refiere a un aumento del 25% en los precios y a un aumento en la producción del 7% (Capacidad de producción).
3.3 millones de barriles diarios	49,22\$	39.05 mil millones de \$	Este escenario se refiere a un aumento del 25% en los precios y a un aumento en la producción del 7% (Capacidad de producción).

5.6 Combinación de los escenarios 5.1 y 5.3

Los escenarios propuestos en las secciones 5.1 y 5.3, son los más representativos de la producción petrolera y los más vulnerables a cambios en el tiempo. En esta sección se pretende mostrar distintos escenarios variando los parámetros de los precios del petróleo junto con la producción diaria del mismo. Se tomará el nivel *Bcv*\$ como referencia para realizar las comparaciones porque este es el nivel que mejor representaría los dólares destinados al gobierno por la renta petrolera. En la tabla 5.1 se muestra en resumen los resultados arrojados por una serie de simulaciones donde se varían tanto los precios como la producción.

Para el año 2003, se especulaba que la renta petrolera venezolana era de alrededor de 25 mil millones de dólares, en esa época el precio del barril de petróleo era aproximadamente de 30\$ y la nación acababa de salir de la crisis petrolera ocurrida en el año 2002, por lo que se vio afectada la producción. En la actualidad, el precio promedio del barril petrolero es mayor al doble que en el año 2003, pero la renta petrolera se

divide de distinta manera, ahora un porcentaje del excedente de las regalías de esta renta es dirigido al FONDEN, creado en el año 2005, y el otro porcentaje se destina al gobierno. Es por ello, que parece razonable pensar que la cifras expuestas se aproximen a lo que debería estar ocurriendo.

Se tomaron cifras acordes a lo que podría ocurrir, referente tanto a los precios como a la producción. Los valores escogidos se adaptan a la situación actual y cómo esta podría variar a corto plazo. Se observa que aproximadamente la renta petrolera debería estar entre los 37 mil millones y 40 mil millones de dólares, a partir de los datos tomados de las diferentes fuentes de información.

5.7 Notas finales

En este capítulo se estudiaron cinco escenarios, y por cada escenario tres situaciones que pudiesen ocurrir. Además se hizo un análisis del contexto en el que se desarrolla cada situación y se justifica su estudio. También se estudió la combinación de los escenarios más relevantes para visualizar el comportamiento de una variable en interés. A partir del análisis de los escenarios se logró establecer varias situaciones sobre el comportamiento de la producción petrolera venezolana y se comentaron los resultados observados en cada uno de ellos.

Capítulo 6

Conclusiones

El producto de este proyecto de grado es un modelo de simulación de la producción petrolera en Venezuela, utilizando la metodología de Dinámica de Sistemas y el programa de simulación Vensim, en su versión 5.6b.

El modelo es el resultado de varios puntos de vista provenientes de diferentes fuentes que dan cuenta de la producción petrolera en Venezuela. A partir de esto se logró formar una idea de qué es lo que está ocurriendo actualmente con la producción del crudo venezolano, a pesar de la falta de información al respecto. El modelo resulta ser una herramienta que sirve para entender el contexto en el que se desarrolla esta producción.

La mayoría de las variables de estado presentaron un comportamiento lineal, esto se debe a que la producción se ve restringida por la cuota de la OPEP, también a que quizá sólo se consiguió una fuente que diera razón sobre ciertas variables y las variables calculadas fueron proporcionales a los datos encontrados, por ejemplo: para las fracciones que dividen la producción de los derivados del petróleo no se utilizaron curvas de demanda con una función de maximización para determinar cuáles eran las mejores combinaciones a producir, cómo se hace en la realidad, sino que con los datos encontrados se determinaron fracciones constantes para cada uno de estos productos.

Se presentaron distintos escenarios que pudiesen ocurrir o que pudiesen estar ocurriendo, gracias a estos análisis se pudieron establecer situaciones para dar sentido a las diferentes versiones que se han pronunciado sobre la producción petrolera

venezolana.

Este proyecto fortaleció las bases ya antes adquiridas en Dinámica de Sistemas, además permitió la instrucción en la producción del recurso energético más utilizado en el mundo y principal fuente de ingresos en Venezuela, también se aprendió sobre los conceptos y formas de expresión que identifican al petróleo.

6.1 Recomendaciones

El modelo puede mejorarse utilizando funciones aleatorias sobre los precios del petróleo cuyo comportamiento es impredecible ya que muchos factores influyen en la determinación del mismo, de igual manera ocurre con sus derivados ya que a medida que cambian los precios del crudo oscilan los de los productos generados en las refinerías.

Con mayor cantidad de datos se podría realizar una mejor estimación de los parámetros, también como se mencionó en la parte anterior, se podría construir la función de maximización utilizando las curvas de demanda de los productos derivados para determinar la mejor combinación a producir.

En la segunda parte del modelo se podría incluir la creación de la moneda nacional de su contraparte en dólares, para mostrar como se distribuye el dinero percibido por los ingresos petroleros al gobierno y éste a su vez al gasto público. De igual forma, se pudiese incluir cómo circula el dinero y la dinámica que se da con el mercado interno, dándole un enfoque más económico al estudio.

Además se podrían estimar costos operativos de la producción petrolera para obtener un balance de los recursos de PDVSA y no sólo lo reflejado por los ingresos. También se podría estudiar la producción del gas natural que va de la mano con la producción petrolera, así como también la dinámica del consumo de energía interno.

Bibliografía

- BBVA (2005). Servicios de estudios económicos bbva - situación: Venezuela. www.bcv.org.ve.
- BCV (2007). Banco central de venezuela - definición. www.bcv.org.ve.
- DAEDALUS (2007). ¿qué es la dinámica de sistemas? Disponible en <http://www.daedalus.es>.
- DAEDALUS Data, D. and Language, S. A. (2007). ¿qué es la dinámica de sistemas. www.daedalus.es.
- de Energía y Petróleo, M.-M. (2007). Ramírez: Conflictos petroleros en el país son falsos. www.petroleoaldia.blogspot.com.
- FONDEN (2007). Fonden- ¿quiénes somos? www.fonden.gob.ve.
- Forrester, J. (1961). *Industrial dynamics*. Productivity Press.
- Hernández, S. (septiembre 18, 1998). Recursos de venezuela. Disponible en <http://www.pdvsa.com/lexico//venezuela/recursos.htm>.
- IESA (2007). Las empresas mixtas petroleras ¿qué tributos pagarán las empresas ... www.iesa.edu.ve.
- Martínez, S. (2005). Página de simulación dinámica. Disponible en <http://www.ieg.csic.es./dinamica/>.
- OGJ (2007). Oil and gas journal - venezuela 2007. www.ogj.com.

PDVSA (2007). Petróleos de venezuela, s. a. www.pdvsa.com.

Sterman, J. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill, USA.

Vensim (2007). Ventana system: Vensim. www.vensim.com.

Wikipedia (2007). La enciclopedia libre: Petróleos de venezuela.
<http://es.wikipedia.org/wiki/Petr>