



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Análisis Paramétrico de Series de  
Tiempo de Producción de  
Hidrocarburos en México**

**TESINA**

Que para obtener el título de  
**Ingeniero Petrolero**

**P R E S E N T A**

Armando Hurtado Arroyo

**DIRECTOR DE TESINA**

Dra. Cecilia Martín del Campo Márquez



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016



---

---

# CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	3
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b> .....	5
1.1 Objetivo .....	7
1.2 Justificación .....	7
1.3 Organización del trabajo .....	8
<b>CAPÍTULO II. Proyecto SIMISE</b> .....	11
2.1 El Modelo Energético de México .....	13
2.2 Necesidades y Características .....	15
2.3 ¿Qué es el SIMISE? .....	19
2.4 Importancia del SIMISE para el desarrollo de México .....	22
<b>CAPÍTULO III. Principales aportaciones al proyecto</b> .....	24
3.1 Base de datos de hidrocarburos .....	25
3.2 El módulo hidrocarburos .....	28
3.2.1 Antecedentes .....	28
3.2.2 Marco teórico .....	29
3.2.3 Modelo .....	33
3.2.4 Aplicaciones desarrolladas para SIMISE .....	39
3.3 Ejemplo de Aplicación .....	50
<b>CAPÍTULO IV. Otras contribuciones al proyecto</b> .....	57
4.1 Conversor de unidades de energía .....	57



---

---

4.2 Apoyo en programación e interfaces gráficas .....	61
4.3 Apoyo en los reportes del proyecto SIMISE .....	63
<b>CAPÍTULO V. Análisis de resultados y discusión .....</b>	<b>65</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>69</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>71</b>



---

---

## RESUMEN

---

---

El presente trabajo muestra los resultados obtenidos de la participación en el proyecto denominado *Sistema de Modelación Integral del Sector Energético (SIMISE)*. Se desagregan las actividades desarrolladas para la construcción del *Módulo de Hidrocarburos* el cual, se considera fundamental en la cadena de valor de la Oferta Energética del País.

Las actividades se realizaron dentro del programa de trabajo denominado ***Apoyo a la Facultad de Ingeniería en Temas de Modelos de Planeación Energética***, en el Posgrado de Ingeniería, durante el período comprendido del 5 de Septiembre de 2014 al 20 de Abril de 2015, acumulando un total de 480 horas efectivas de trabajo, consideradas como insumo para la opción de titulación mediante Servicio Social.

Con base en lo anterior, se considera fundamental señalar que el SIMISE es un proyecto que tiene como objetivo desarrollar modelos matemáticos y bases de datos, codificarlos e integrarlos en una plataforma informática para modelar el



---

Sistema Energético de México, acoplando las cadenas de valor del propio sistema, con la finalidad de diseñar escenarios de planeación, consolidando así una herramienta dedicada a la planeación energética integral indicativa de utilidad para la Secretaría de Energía (SENER).

Asimismo, el SIMISE cuenta con una estructura modular integrada a una base de datos propia y modelos avanzados de cálculo que permiten proyectar las demandas futuras de energía en los diferentes sectores económicos del país. Por otro lado SIMISE permite analizar y evaluar las diferentes opciones de oferta de energía (tecnologías de transformación y transporte) para satisfacer las demandas de energía al menor costo.

El SIMISE tiene un Módulo de Hidrocarburos cuyo objetivo principal es el desarrollo y pruebas de una **Aplicación de estadística** para generar proyecciones y escenarios de oferta de hidrocarburos a corto, medio y largo plazo, mediante el uso de datos históricos de producción de hidrocarburos.

Adicionalmente, en este trabajo, se realizó un comparativo entre los resultados obtenidos con la aplicación desarrollada para el SIMISE y los resultados de la aplicación comercial **Crystal Ball** desarrollada por **Oracle**.

Finalmente, se describen otras aportaciones realizadas, como la integración de la información de hidrocarburos a la base de datos central del SIMISE, la aplicación **conversor** de unidades, el cual tiene la capacidad de realizar conversiones de energía uno a uno, esto quiere decir que el usuario proporciona valores a convertir y la aplicación entrega el resultado, también puede hacer conversiones mediante plantillas elaboradas en Excel. Además, se apoyó en la programación y construcción de interfaces de otros módulos de SIMISE y la elaboración de los reportes de entrega del proyecto.



---

---

## ABSTRACT

---

---

This work show the results obtained from the participation in the project *Sistema de Modelación Integral del Sector Energético (SIMISE)*, also it disaggregates the specific activities made to developed the Module of Hydrocarbons, this is a main element in to chain of value of the Energetic Offer of the Country.

The activities were realized inside the program of work named ***Apoyo a la Facultad de Ingeniería en Temas de Modelos de Planeación Energética***, in the Posgrado de Ingeniería of the Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), this during the period from September 5, 2014 to April 20, 2015, accumulating 480 effective hours of work, these considered as input for the degree option by Social Service.

Therefore, the importance to explain that the SIMISE project has as aim to model the Energetic System of Mexico, connecting the chains of value of the own System, with the purpose of designing scenes of planning, with this consolidate a



---

tool dedicated to the energetic integral indicative planning of usefulness for the Secretaría de Energía of the country.

SIMISE had a modular structure, also a data base and advanced calculations models, that allow project future energy demands in different economic sectors, in addition to analyzing and evaluating different options of energy supply (technologies of transformation and transport) to supply energy demands at the lowest cost.

The main objective of hydrocarbons module in SIMISE is the creation of a statistical application, which using hydrocarbon production historical data as input, obtain projections and scenarios of hydrocarbon supply in the short, medium and long term are generated, as output. Additionally, a comparison between the results obtained with this application and the results of the Crystal Ball commercial application developed by Oracle was performed.

Finally, additional activities were realized such as the integration of hydrocarbons information to the central database of SIMISE, the converter application which has the ability to convert a big variety of energetic units, one by one. The application can also make conversions with templates developed in Excel, support in planning and building interfaces to other modules of SIMISE. Another contribution was supported in preparing reports project delivery.



---

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

---

Actualmente el sector petrolero en México ha tenido una baja en la producción nacional de petróleo y gas natural, de acuerdo a los valores reportados por la Subsecretaría de Planeación y Transición Energética de SENER<sup>(3)</sup> (Secretaría de Energía). En su publicación del Prontuario Estadístico del Sector Energético<sup>(1)</sup> se muestra que en mayo de 2015 la producción de petróleo crudo promedió 2 227 000.0 barriles diarios (bd), 10.6% menor que la de mayo de 2014 y que en mayo de 2015 la producción bruta de gas natural (incluye nitrógeno) registró 6 202.2 millones de pies cúbicos diarios (MMpcd), 4.5% menor que la de mayo de 2014.

Con base en los Escenarios del Plan de Negocios de Petróleos Mexicanos<sup>(4)</sup> (PEMEX) años 2015 – 2018, se muestran los resultados esperados de producción de hidrocarburos (Tabla 1.1 y Tabla 1.2).





	<b>Resultados Esperados - Producción de Gas Natural (MMpcd)</b>			
	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
<b>Escenario 1</b>	5,115	5,182	5,311	5,421
<b>-Escenario 1B</b>	5,673	5,525	5,386	5,425
<b>Escenario 2</b>	5,474	5,631	5,778	5,840
<b>-Escenario 2B</b>	5,917	5,904	5,838	5,843

Tabla 1.1 Resultados Esperados de Producción de Gas Natural por PEMEX (2015-2018)

	<b>Resultados Esperados - Producción de Petróleo Crudo (Mbd)</b>			
	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
<b>Escenario 1</b>	2,587	2,592	2,595	2,680
<b>-Escenario 1B</b>	2,587	2,592	2,595	2,680
<b>Escenario 2</b>	2,621	2,665	2,808	3,004
<b>-Escenario 2B</b>	2,621	2,665	2,808	3,004

Tabla 1.2 Resultados Esperados de Producción de Petróleo Crudo por PEMEX (2015-2018)

Los escenarios 1 y 2 son generados a lo largo del Ciclo de Planeación de PEMEX tal que permiten sustentar y alinear constantemente los programas operativos y el portafolio de proyectos. Los escenarios 1B y 2B son derivados de los escenarios 1 y 2 respectivamente, están orientados a aumentar la producción de hidrocarburos que a su vez involucran recursos adicionales, como resultado del aumento de la producción de gas natural se podrá satisfacer la demanda industrial de país.

El Gobierno de la República se vio en la necesidad de aplicar una **Reforma Energética en México**<sup>(2)</sup> para poder contrarrestar las pérdidas en la producción de petróleo y gas natural debido a los precios volátiles del petróleo y la caída del precio del gas natural en el mundo. Uno de los puntos importantes de la reforma en materia de petróleo y gas menciona: La **Reforma** es necesaria para producir



---

más hidrocarburos a menor costo, permitiendo que las empresas privadas complementen la inversión de Petróleos Mexicanos (PEMEX) mediante contratos de Exploración y Extracción de petróleo y gas.

Por tal motivo, se busca que el módulo hidrocarburos de SIMISE desarrolle una aplicación robusta para crear proyecciones y escenarios de producción de hidrocarburos mostrando su comportamiento para los próximos años.

## **1.1 Objetivo**

El objetivo de este informe es presentar los resultados obtenidos durante la elaboración del servicio social realizado en la División de Ingeniería Eléctrica, Departamento de Sistemas Energéticos de la Facultad de Ingeniería en el proyecto denominado Sistema de Modelación Integral del Sector Energético (SIMISE), como parte de los requisitos para obtener el título de ingeniero petrolero.

## **1.2 Justificación**

Tomando en consideración las necesidades del Sector Energético de México y en particular el Sector Petrolero, se vio la necesidad de la creación de herramientas computacionales (software) mediante proyectos, con el fin de apoyar al Sector Energético a tomar decisiones importantes en materia de energía para lograr los objetivos planteados en la Reforma Energética.

Las aportaciones al proyecto, como la base de datos de hidrocarburos ayudarán a mantener ordenada la información de producción de hidrocarburos, las aplicaciones del módulo de hidrocarburos realizarán la proyección de la



---

producción a corto, medio y largo plazo para la toma de decisiones y el *convertidor* de unidades de energía ayudará a invertir menos tiempo para realizar conversiones de una unidad a otra, logrando utilizar los resultados en otras aplicaciones de SIMISE.

### 1.3 Organización del trabajo

**Capítulo 1.** En este capítulo se menciona el objetivo del presente trabajo y se introduce al lector informándole sobre el problema que vive el sector petrolero en México y la solución que implementó el Gobierno de la Republica mediante una Reforma Energética, además se justifica el porqué de crear el software Sistema de Modelación Integral del Sector Energético (SIMISE).

**Capítulo 2.** Este capítulo se centra en explicar en qué consiste el proyecto SIMISE comenzando con una breve historia del Modelo Energético en México y siguiendo con la explicación de las características y la importancia del proyecto para el desarrollo de México. Además se describe en qué consiste el módulo hidrocarburos y su importancia dentro del modelo SIMISE.

**Capítulo 3.** El contenido de este capítulo consiste en explicar la teoría básica de pronóstico con base a la metodología de series de tiempo, los métodos de pronóstico aplicados a las series de tiempo de producción de hidrocarburos y mostrar el desarrollo de las aplicaciones de pronóstico de producción.

**Capítulo 4.** En este capítulo se exponen los resultados obtenidos de las aplicaciones del módulo hidrocarburos y su comparación con los resultados obtenidos de la aplicación comercial *Crystal Ball*.



---

**Capítulo 5.** Este capítulo consiste en explicar la importancia y utilidad de las aportaciones al proyecto: base de datos de hidrocarburos, conversor de unidades de energía, apoyo en la programación y desarrollo de interfaz gráfica de otras aplicaciones, aporte de ideas y apoyo en reportes de trabajo del proyecto.

**Capítulo 6.** En este capítulo se desarrolla la discusión y conclusiones del resultado obtenido del presente trabajo.





---

## CAPÍTULO II. Proyecto SIMISE

---

El SIMISE es un sistema computacional, compuesto por módulos que realizan las diferentes actividades de la planeación energética desarrollado por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) bajo las especificaciones de la Secretaría de Energía (SENER). El proyecto es conducido por la Coordinación de Innovación y Desarrollo de la UNAM y con la participación de académicos y expertos de varias entidades como son la Facultad de Ingeniería, el Instituto de Investigaciones Económicas, el Instituto de Investigaciones en Matemáticas y Sistemas, y la Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de la Información y Comunicación.

El SIMISE es un proyecto que tiene como objetivo desarrollar modelos matemáticos y bases de datos, codificarlos e integrarlos en una plataforma informática modelando así el Sistema Energético de México, acoplando las cadenas de valor del propio Sistema, con la finalidad de diseñar escenarios de planeación, consolidando así una herramienta dedicada a la planeación energética integral.



Además, SIMISE cuenta con una base de datos propia y modelos avanzados de cálculo para proyectar las demandas futuras de energía en los diferentes sectores económicos del país, así como para analizar y evaluar las diferentes opciones de oferta de energía (tecnologías de transformación y transporte) para satisfacer las demandas de energía al menor costo.

Por la gran complejidad que tiene el desarrollo del SIMISE, se trata de un proyecto de cuatro años, el cual inició en octubre de 2013 y terminará en septiembre de 2017 (ver figura 2.1).



Figura 2.1 Etapas del desarrollo del SIMISE



---

## 2.1 El Modelo Energético de México

Actualmente se ha incrementado la producción de energía debido al aumento en la demanda en el mundo. Por mencionar unos ejemplos de lo que sucede internacionalmente, Estados Unidos está reduciendo sus importaciones de hidrocarburos para convertirse en uno de los mayores productores a nivel mundial, mientras que el consumo de energía aumenta en países como Asia, China y la India. Alemania, Japón y Francia están apostando por utilizar fuentes con bajas emisiones de CO<sub>2</sub> básicamente energías renovables.

En México se está produciendo menos petróleo y gas debido a que el marco jurídico antes de la reforma en materia de exploración y extracción de hidrocarburos obligaba a PEMEX a asumir todos los riesgos de los proyectos, las altas inversiones no estaban dando resultados en los retos de PEMEX, por lo que restaba fortaleza a la empresa. Con ello, el decaimiento natural de los yacimientos más importantes del país.

Respecto a la producción de gas en México, esta es insuficiente para satisfacer el mercado interno, esto suena como una incongruencia, ya que México cuenta con grandes recursos de gas natural en el subsuelo, sin embargo, actualmente se importa cerca de un tercio del consumo.

Por otro lado, el 47% de la red de transmisión eléctrica tiene más de 30 años de antigüedad y únicamente el 8% de ellas han sido construidas en los últimos cinco años.

Considerando lo anterior, se aprobó una Reforma que cambió el modelo energético de México, y que en teoría deberá fortalecer la competitividad del sector energético, garantizar tanto el suministro de energía hacia el futuro, como el futuro para las próximas generaciones, y lograr ubicar a México entre las mejores economías del mundo.





Para poder continuar es necesario conocer la estructura institucional del sector energético en México que a continuación se muestra (ver figura 2.2).

**Siglas:**

- SENER (Secretaría de Energía)
- SHCP (Secretaría de Hacienda y Crédito Público)
- SE (Secretaría de Economía)
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales)
- CNH (Comisión Nacional de Hidrocarburos)
- CRE (Comisión Reguladora de Energía)
- PEMEX (Petróleos Mexicanos)
- CFE (Comisión Federal de Electricidad)
- CENEGAS (Centro Nacional de Control del Gas Natural)
- CENACE (Centro Nacional de Control de Energía)



**Figura 2.2 Estructura Institucional del sector energético en México**



---

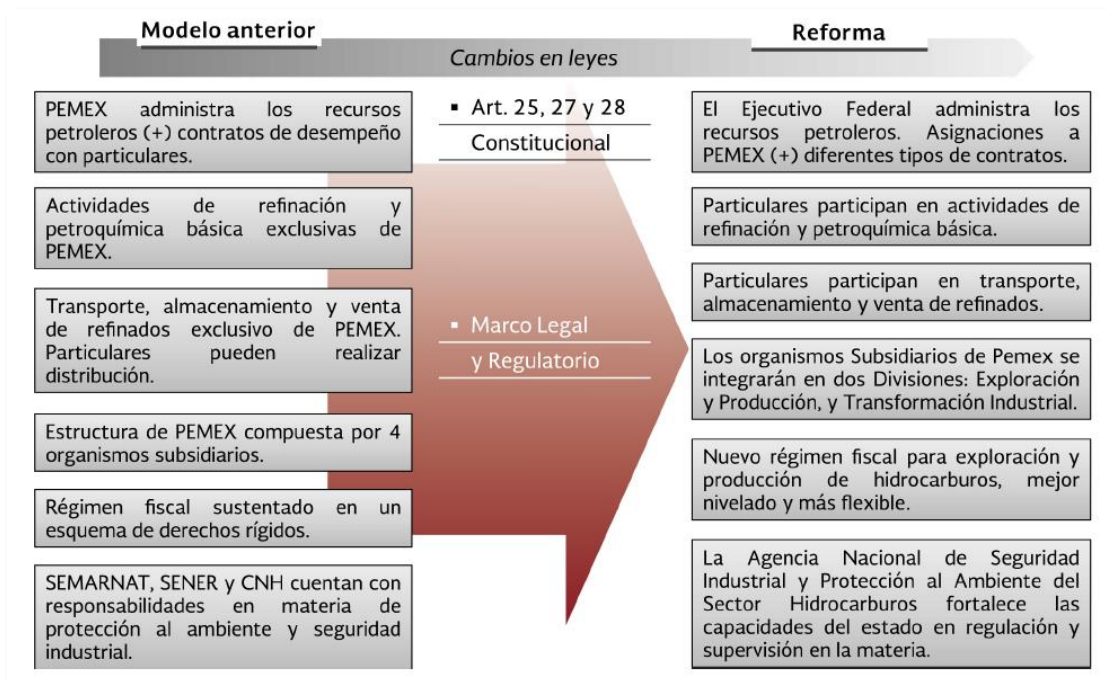
## 2.2 Necesidades y Características

El nuevo modelo energético de México se construyó mediante siete fundamentos:

- ❖ Sector abierto a la competencia
- ❖ Los recursos son propiedad del estado
- ❖ El Estado como rector de la política energética
- ❖ Renta petrolera como palanca de estabilidad y desarrollo
- ❖ Responsable con la sustentabilidad y el medio ambiente
- ❖ Vigorosas empresas productivas del Estado
- ❖ Transparencia y mejores prácticas

Ahora se abordan las características y necesidades que integran la reforma con el nuevo modelo energético, este nuevo modelo cuenta con cambios en dos subsectores, uno de ellos el subsector hidrocarburos y el segundo el subsector eléctrico.

A continuación se muestra en la Figura 2.3 los cambios en las leyes constitucionales en el subsector hidrocarburos <sup>(5)</sup>.



**Figura 2.3 Modificaciones Constitucionales en materia de hidrocarburos**

En resumen, PEMEX Exploración y Producción conservará su papel dentro de la industria petrolera, podrá acceder a un mejor régimen fiscal, asociarse con terceros mediante contratos, aumentar su capacidad de inversión y reducir el riesgo en los proyectos, así como también asimilar nuevas tecnologías.

PEMEX podrá elegir de entre las áreas del territorio nacional en las cuales existan planes de desarrollo o que se hayan realizado planes de descubrimientos petroleros con potencial de éxito comercial o zonas que sean más atractivas para su exploración o desarrollo (“Ronda Cero”).

El estado podrá realizar contratos con PEMEX, así como con empresas privadas para las actividades de exploración y explotación de hidrocarburos, mediante los distintos tipos de contratos como son: de servicios, de utilidad o producción compartida, o de licencia.



---

La SENER coordinará el sector energético del país y definirá la política energética, además adjudicará asignaciones a PEMEX y seleccionará las áreas que pueden ser sometidas a contratos para la exploración y explotación de hidrocarburos.

La Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH) será el órgano que regule la correcta administración de los contratos, así como también brindará asesoría técnica, recopilación de información geológica y operativa, trabajos de exploración superficial, regulación en la exploración y extracción de hidrocarburos a la SENER, entre otras labores más.

En materia de sistema de transporte, se admite la participación de particulares para el transporte, almacenamiento y distribución del petróleo, petrolíferos, petroquímicos y gas natural, además se creará el Centro Nacional de Control del Gas Natural (CENEGAS) el cual estará encargado del Sistema Nacional de Gasoductos, administrará el Sistema de Transporte y Almacenamiento Integrado y garantizará la continuidad del suministro del gas natural comercial.

PEMEX podrá asociarse y obtener recursos para modernizar su infraestructura y aumentar la producción de combustibles en el país, además se podrán integrar cadenas productivas para aumentar la oferta nacional de gasolinas, petroquímicos y combustibles.

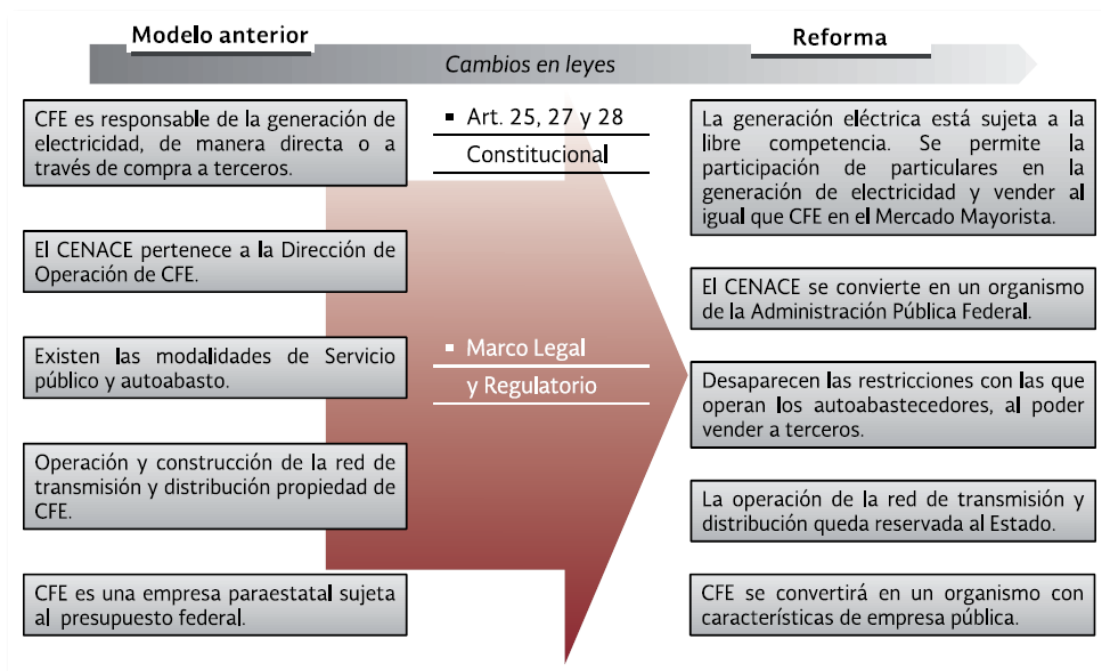
La Comisión Reguladora de Energía (CRE) será el órgano regulador autónomo, técnico y de gestión que asumirá funciones de ordenamiento económico y presupuestario.

Se creará el Fondo Mexicano del Petróleo para la Estabilización y el Desarrollo el cual administrará los recursos fiscales distintos de los impuestos de los proyectos de exploración y explotación de hidrocarburos desarrollados por



empresas estatales productivas o privadas a través de asignaciones o contratos. Además el Fondo Mexicano del Petróleo buscará la estabilidad de las finanzas públicas y el ahorro a largo plazo de los ingresos petroleros del Estado que serán utilizados de manera eficiente, productiva y transparente destinados a seguridad social, educación y desarrollo regional.

En la Figura 2.4 se muestran las modificaciones constitucionales para el subsector eléctrico <sup>(5)</sup>.



**Figura 2.4 Modificaciones Constitucionales en materia de electricidad**



## 2.3 ¿Qué es el SIMISE?

El SIMISE es un sistema computacional, compuesto por módulos que realizan las diferentes actividades de la planeación energética usando modelos y bases de datos. La Figura 2.5 muestra un esquema de la estructura modular del SIMISE con los principales componentes que permitirán realizar todas las etapas de la metodología de planeación energética.

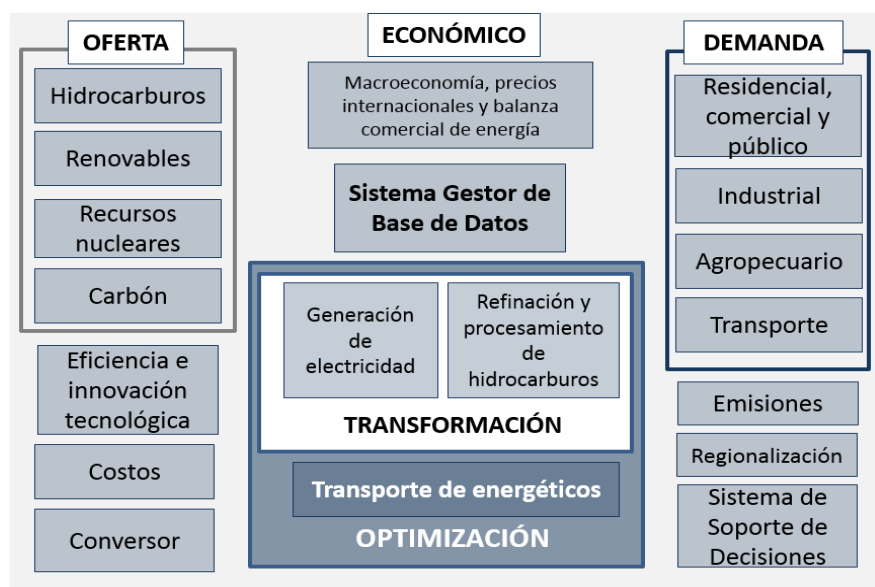


Figura 2.5 Estructura general del SIMISE

Específicamente, el SIMISE cuenta con el Módulo Económico o Macroeconomía, el cual está constituido por modelos avanzados para la realización de los análisis macroeconómicos del país dentro de un contexto de comercio internacional. Para analizar la demanda futura de energía se tiene el Módulo de Demanda en el que se desarrollaron modelos econométricos que estiman los consumos futuros de energía para los sectores: 1) Residencial, Comercial y Público, 2) Agropecuario, 3) Transporte y 4) Industrial. El módulo de Demanda utiliza modelos muy semejantes a nivel nacional y para las diferentes regiones del país. Para el caso de electricidad además del consumo de electricidad, se incluye el análisis de carga horaria y proyección de pico de



potencia a nivel regional. La estructura de SIMISE correspondiente a la parte de oferta energética cuenta con cuatro módulos importantes: 1) Hidrocarburos (gas y petróleo) 2) Renovables (hidroeléctrica, eólica, geotérmica, solar y biomasa), 3) Nuclear y 4) Carbón. Los modelos desarrollados en la oferta tienen un enfoque específico para evaluar los recursos energéticos del país que se pueden ofertar en años futuros.

Parte medular del SIMISE es su Módulo de Optimización, el cual optimiza la adición de infraestructura con base en la optimización del balance de oferta - demanda. El balance consiste en acoplar oferta-demanda en un sistema de referencia energética (ver figura 2.6) que incluye los procesos de extracción de energía, transporte de energía primaria, procesos de transformación de transporte de energía secundaria a centros de distribución y sectores de consumo final.

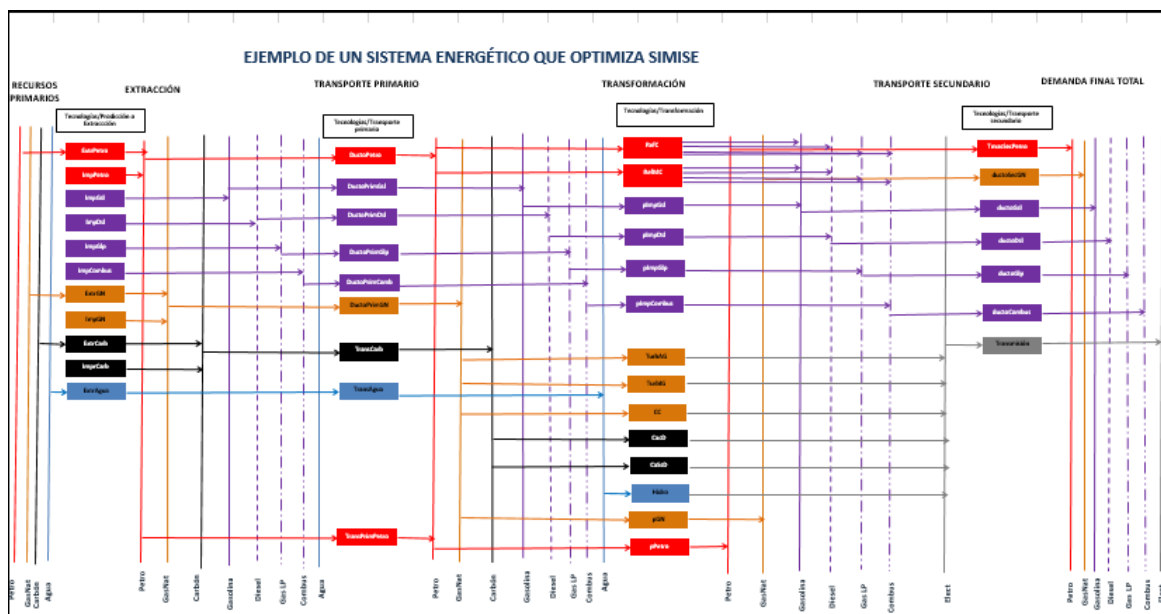


Figura 2.6 Ejemplo de sistema de referencia energético compuesto por cadenas energéticas

La planeación energética requiere tomar en cuenta la interacción del sector de energía con el resto de la economía. El proceso de planeación es bastante



---

complejo, debido a que las necesidades de energía que se deben satisfacer cambian continuamente y las posibilidades de la oferta también. La planeación energética es un proceso iterativo y dinámico que involucra varios tipos de análisis que se tienen que repetir periódicamente y ajustar a las condiciones cambiantes, como son el crecimiento poblacional y económico, las innovaciones tecnológicas, el agotamiento de los recursos naturales y la contaminación ambiental, entre muchas otras.

La planeación energética requiere principalmente:

- ❖ Conocer las tendencias, limitantes y comportamiento del sector, con una visión de largo plazo.
- ❖ Atender los requerimientos específicos del sector energético.
- ❖ Mantener, fomentar y ampliar la generación y gestión de información relevante para la planificación energética
- ❖ Enlazar la demanda y la oferta de energía en las diferentes regiones.
- ❖ Evaluar el impacto de las políticas públicas en materia de energía.
- ❖ Evaluar las implicaciones de diversos escenarios.

La metodología de planeación energética incluye análisis macroeconómicos, proyecciones de la demanda de energía, análisis de recursos energéticos, caracterización adecuada de las tecnologías de conversión de energía y la optimización del balance de oferta-demanda de energía, en donde se relaciona la demanda de cada sector de la economía con los recursos y las tecnologías disponibles para producir los energéticos y la electricidad.

El SIMISE en su versión integral, al final del proyecto en septiembre de 2017, cubrirá las siguientes funciones:

- ❖ Revisión de la situación actual de demanda y oferta.
- ❖ Evaluación de necesidades futuras de demanda por sector, región y energético.





- ❖ Proyección de la demanda de energéticos de uso final para diferentes escenarios.
- ❖ Análisis de elasticidades de la demanda de energéticos.
- ❖ Recopilación de información sobre recursos energéticos disponibles.
- ❖ Evaluación conjunta de opciones tecnológicas de las etapas de transformación y transporte: infraestructura en refinerías, plantas endulzadoras de gas y plantas generadoras, así como los requerimientos de infraestructura de transporte y transmisión.
- ❖ Desarrollo de escenarios alternativos de balances de demanda y oferta por sector, por energético y por región.
- ❖ Identificación de obras de infraestructura y montos de inversión necesarios para cubrir los escenarios de oferta.
- ❖ Impacto de la intermitencia de energías renovables.
- ❖ Evaluación de medidas económicas, financieras y ambientales.
- ❖ Escenarios de impactos atribuibles a innovaciones tecnológicas.

Al término del proyecto, la SENER contará con una herramienta con modelos propios, que representan los componentes del sector energético mexicano y sus interacciones en las diferentes regiones del país. El SIMISE como una herramienta de planeación indicativa de largo plazo, con base de datos propia y modelos de cálculo para proyectar futuras demandas de energía en diferentes sectores económicos del país, permitirá analizar las opciones de la oferta para satisfacer las demandas de energía al menor costo.

## **2.4 Importancia del SIMISE para el desarrollo de México**

El sector energético en México está enfrentado cambios muy significativos derivados de la reforma energética, con cambios estructurales en las cadenas de suministro del sector energético y nuevos modelos de inversión pública y privada.



---

La SENER es la encargada de la planeación energética en México y de definir las políticas energéticas del país para asegurar un desarrollo sostenible. El SIMISE será una de sus herramientas más importantes junto con la base de datos del Sistema de Información Energética (SIE), el cual es la fuente de información que alimenta al SIMISE desde su desarrollo (como herramienta de planeación) y posteriormente para su aplicación en el análisis de escenarios energéticos que permitan el soporte de decisiones de políticas energéticas.

El desarrollo del SIMISE, como herramienta de planeación integral indicativa de largo plazo, permitirá realizar estudios del comportamiento del sector ante cambios en los parámetros técnicos, económicos, ambientales y sociales; obteniendo como resultado planes de expansión energética y la evaluación de política pública, que permitan colocar a México en el camino del desarrollo y la sustentabilidad.

Así el módulo hidrocarburos contiene datos, información y modelos correspondientes a la producción y manejo de hidrocarburos (petróleo y gas natural). El módulo trabaja con los datos producidos por PEMEX exploración y producción y almacenados en la base de datos Institucional de la SENER (SIE), la base de datos institucional de PEMEX (BDI) y datos de la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH) para la generación de escenarios y proyecciones de producción de hidrocarburos.





---

## CAPÍTULO III. Principales aportaciones al proyecto

---

En el presente capítulo se describen las principales aportaciones realizadas al proyecto durante el servicio social.

### **3.1 Base de datos de hidrocarburos**

La base de datos se realizó con el fin de tener una base propia para el módulo hidrocarburos y mostrar la producción de los diferentes tipos de Hidrocarburos (petróleo y gas natural). Los datos utilizados para la creación de la base de datos fueron extraídos de la BDI de PEMEX, del SIE de la SENER y de la CNH.

Los datos están desagregados por tipo de hidrocarburo (petróleo y gas natural), por regiones petroleras (Región Marina Noreste, Región Marina Suroeste, Región Norte y Región Sur), por campo seleccionado de cada región y total del



sistema; los datos fueron obtenidos mensualmente; inician en el año 2000 y finalizan en el año 2014.

De manera preliminar, la base fue construida en Excel y posteriormente toda la información será transferida a la base de datos integrada de SIMISE. La figura 3.1 muestra la estructura de la base de datos del módulo hidrocarburos para el caso de gas natural.

[Índice](#)

### Producción de Gas Natural

<b>Introducción</b>	<a href="#">Introducción</a>
<b>Producción Total</b>	
Producción Promedio Mensual de Gas Natural Total del Sistema	<a href="#">PGN-TS</a>
<b>Región Marina Noreste</b>	
Producción Bruta Promedio Mensual Región Marina Noreste	<a href="#">PB-RMN</a>
<b>Región Marina Suroeste</b>	
Producción Promedio Mensual Región Marina Suroeste	<a href="#">PB-RMS</a>
<b>Región Sur</b>	
Producción Promedio Mensual Región Sur	<a href="#">PB-RS</a>
<b>Región Norte</b>	
Producción Promedio Mensual Región Norte	<a href="#">PB-RN</a>
<b>Campos Seleccionados Región Marina Noreste</b>	
Producción Promedio Mensual Región Marina Noreste Campo Akal	<a href="#">PGN-CAK</a>
Producción Promedio Mensual Región Marina Noreste Campo Sihil	<a href="#">PGN-CSI</a>
Producción Promedio Mensual Región Marina Noreste Campo Ixtoc	<a href="#">PGN-CIX</a>
Producción Promedio Mensual Región Marina Noreste Campo Ku	<a href="#">PGN-CKU</a>
Producción Promedio Mensual Región Marina Noreste Campo Zaap	<a href="#">PGN-CZA</a>
Producción Promedio Mensual Región Marina Noreste Campo Maloob	<a href="#">PGN-CMA</a>
Producción Promedio Mensual Región Marina Noreste Otros Campos	<a href="#">PGN-RNQ</a>

**Figura 3.1 Estructura de la base de datos del módulo de hidrocarburos**

A continuación, se presenta un ejemplo de los atributos que contiene cada serie de tiempo de la base de datos. En ésta se muestra: Año, Unidad (de medida), Nombre, meses del año y el valor promedio anual (ver figura 3.2).

#### Producción Promedio Campo Xanab

AÑO	UNIDAD	NOMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO ANUAL
2009	MMpod	PRODUCCIÓN DE GAS NATURAL - Región Marina Suroeste - Campo Xanab								0.700	3.502	2.805	7.478		<b>3.641</b>
2010	MMpod	PRODUCCIÓN DE GAS NATURAL - Región Marina Suroeste - Campo Xanab	12.698	14.516	12.166	12.514	12.136	12.756	12.745	12.653	13.029	14.274	16.867	16.280	<b>13.545</b>
2011	MMpod	PRODUCCIÓN DE GAS NATURAL - Región Marina Suroeste - Campo Xanab	22.618	21.509	21.671	28.758	25.282	23.957	25.641	25.579	21.554	27.005	24.411	24.438	<b>24.369</b>
2012	MMpod	PRODUCCIÓN DE GAS NATURAL - Región Marina Suroeste - Campo Xanab	20.706	26.659	28.557	30.380	28.801	32.659	34.076	26.345	27.317	33.362	34.878	37.410	<b>30.146</b>
2013	MMpod	PRODUCCIÓN DE GAS NATURAL - Región Marina Suroeste - Campo Xanab	39.958	39.536	41.562	43.031	41.024	41.019	43.037	45.014	42.413	44.148	47.562	41.928	<b>42.524</b>
2014	MMpod	PRODUCCIÓN DE GAS NATURAL - Región Marina Suroeste - Campo Xanab	41.818	41.920	41.920	44.231	50.884	50.107	49.410	49.758	51.339	52.794	51.895	48.653	<b>47.897</b>
2015	MMpod	PRODUCCIÓN DE GAS NATURAL - Región Marina Suroeste - Campo Xanab	44.531												<b>44.531</b>

**Figura 3.2 Producción de gas natural Región Marina Suroeste Campo Xanab**



Con el objetivo de visualizar los incrementos y decrementos de la producción mensual total del sistema durante cada año del periodo de 2000 a 2015, en la Figura 3.3 se muestra una gráfica con los valores de la producción mensual para cada año. Este ejercicio de visualización se realizó para todas las series de tiempo indicadas en la estructura de la Figura 3.1.

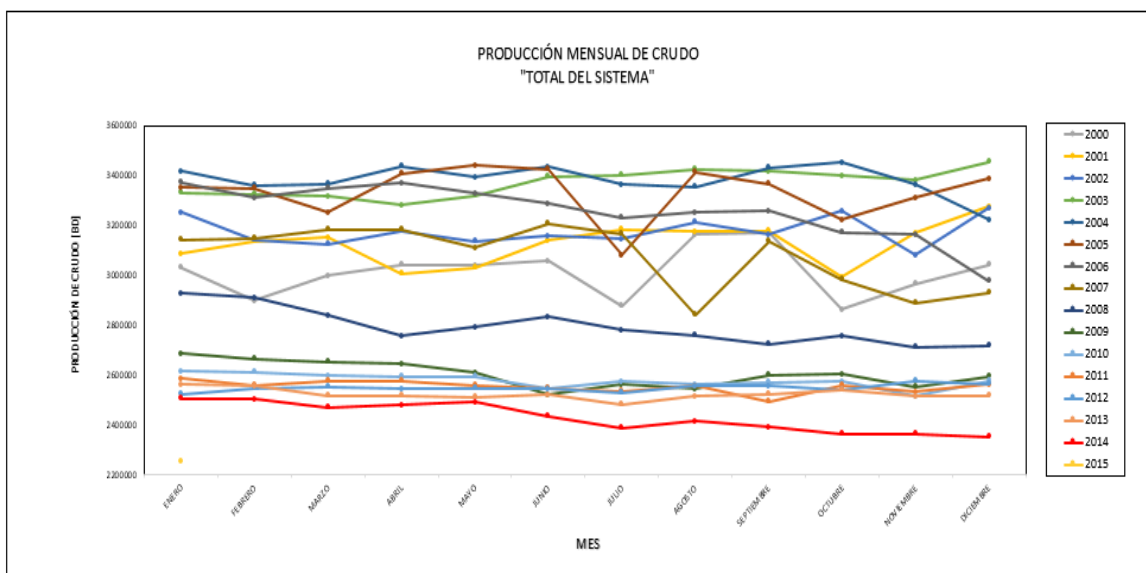


Figura 3.3 Producción mensual de crudo total del sistema

La base fue construida para estar ligada al módulo hidrocarburos, en específico, se construyeron las series de tiempo para ser utilizadas por las aplicaciones estadísticas del módulo que posteriormente se describen.



---

## 3.2 El módulo hidrocarburos

El objetivo del módulo es realizar proyecciones y escenarios sobre la producción de hidrocarburos a partir de información histórica y actual que se encuentra disponible en la base de datos de la SENER, CNH y PEMEX. Cuenta con una base de datos propia de producción de hidrocarburos desagregada por región, campo y tipo, una parte principal es interactuar con diferentes aplicaciones de los módulos de SIMISE, ya que las proyecciones de producción a nivel nacional son datos significativos a considerar en la optimización de infraestructura de transformación y del sector energético.

Actualmente la situación energética del país con la aprobación de la nueva reforma espera la apertura del sector energético con futuras inversiones privadas, por tal motivo el módulo debe ser dinámico y diseñarse para ser ajustado con frecuencia a los cambios en los años subsecuentes hasta que se establezca la cadena de valor de los hidrocarburos de acuerdo al mercado.

### 3.2.1 Antecedentes

Actualmente, México no cuenta con un software con las características de SIMISE, así que esto lo hace único, de modo que, será un software integral de apoyo para la toma de decisiones en materia de energía. Por otro lado, el módulo hidrocarburos requiere una aplicación para llevar a cabo el análisis de series de tiempo y realizar proyecciones confiables que ayuden a la toma de decisiones tácticas aún en condiciones de mercado inciertas.

En el mundo existen una gran cantidad de aplicaciones comerciales que se centran en el análisis de series de tiempo para petróleo y gas, como es el caso de la aplicación **Crystal Ball** creado por **Oracle**. Esta aplicación se basa en



---

herramientas de modelado predictivo de Monte Carlo, proporciona capacidad de optimización, cálculo avanzado, análisis de riesgo y proyecciones de series de tiempo utilizando una gran cantidad de modelos como: aditivos y multiplicativos, promedio móvil simple y doble, suavización exponencial simple y doble y aditivos y multiplicativos de Holt-Winters.

De tal modo que tomando en cuenta la información y las capacidades de *Crystal Ball*, se busca desarrollar una aplicación similar propia para el módulo hidrocarburos de SIMISE, que cuente con la capacidad de analizar datos históricos de producción de hidrocarburos y que además pueda emplearse para obtener proyecciones con mínimo error para diferentes supuestos.

### 3.2.2 Marco teórico

Una **serie de tiempo** es el conjunto de valores observados, obtenidos durante un periodo de tiempo<sup>(20)</sup>.

Existen dos tipos de series de tiempo, **serie discreta** es aquel conjunto de observaciones obtenidas en intervalos de tiempo regulares (observaciones mensuales, diarias, etc.) y **serie continua** es aquella que es obtenida mediante observaciones continuas en un intervalo de tiempo.

Los datos de diversas situaciones son observados en diferentes puntos del tiempo (años, meses, días, etc.), típicamente una dependencia es introducida por la recolección adyacente de observaciones a través del tiempo y este hecho limita la aplicación de muchos métodos estadísticos que se sustentan de la suposición de datos independientes e idénticamente distribuidos.





El análisis de las series de tiempo implica un análisis estadístico que debe incluir: a) la modelización, b) la estimación, c) la aplicación de pruebas de hipótesis y d) la realización de una proyección, siendo esta última el objetivo primordial del análisis.

Una serie de tiempo puede ser caracterizada mediante operaciones matemáticas y/o visualmente, las principales características son: tendencia, ciclo y/o estacionalidad y componentes irregulares o datos atípicos.

Un enfoque general para el análisis de una serie de tiempo responde las siguientes preguntas:

- ❖ ¿Existe una tendencia?
- ❖ ¿Existe una componente estacional y/o cíclica?
- ❖ ¿Existen cambios en el comportamiento?
- ❖ ¿Existen componentes irregulares?

Los métodos clásicos consideran que una **serie de tiempo estacional** mediante un esquema aditivo está compuesta por:

$$X_t = m_t + S_t + Y_t$$

Donde:

$X_t$ : Una serie de tiempo.

$m_t$ : Componente de tendencia.

$S_t$ : Componente estacional.

$Y_t$ : Componente irregular

La componente de tendencia depende del movimiento de la serie a lo largo del tiempo, la tendencia puede ser lineal y no lineal. La tendencia lineal está representada por una línea recta y puede ser con pendiente creciente, decreciente o nula. La tendencia no lineal puede presentarse en una serie y puede ser



polinómica, exponencial, logarítmica o potencial entre otras. La Figura 3.4 muestra la gráfica de una serie de datos y su tendencia lineal obtenida mediante un ajuste vía mínimos cuadrados.

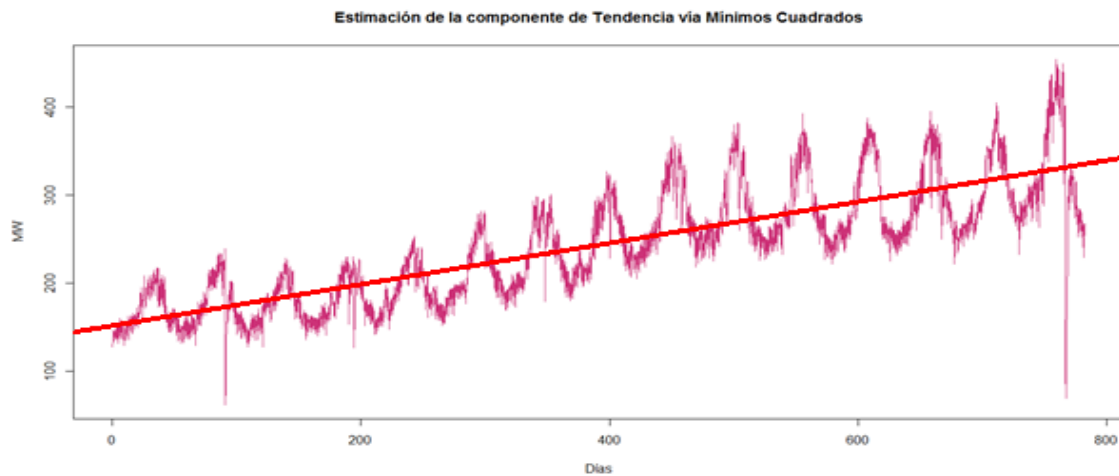


Figura 3.4 Ejemplo de tendencia en una serie de tiempo

La componente estacional corresponde a los movimientos periódicos, por ejemplo, año tras año en los mismos meses del año, más o menos con la misma intensidad (ver figura 3.5).

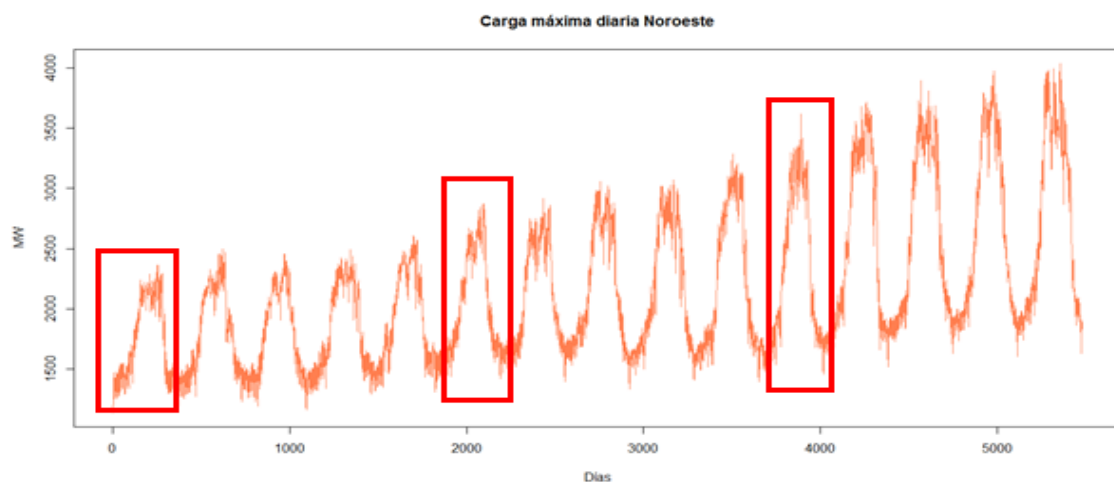


Figura 3.5 Ejemplo de estacionalidad en una serie de tiempo



La componente cíclica se define como una secuencia de puntos por arriba y por debajo de la línea de tendencia de la serie por más de un año (Figura 3.6).

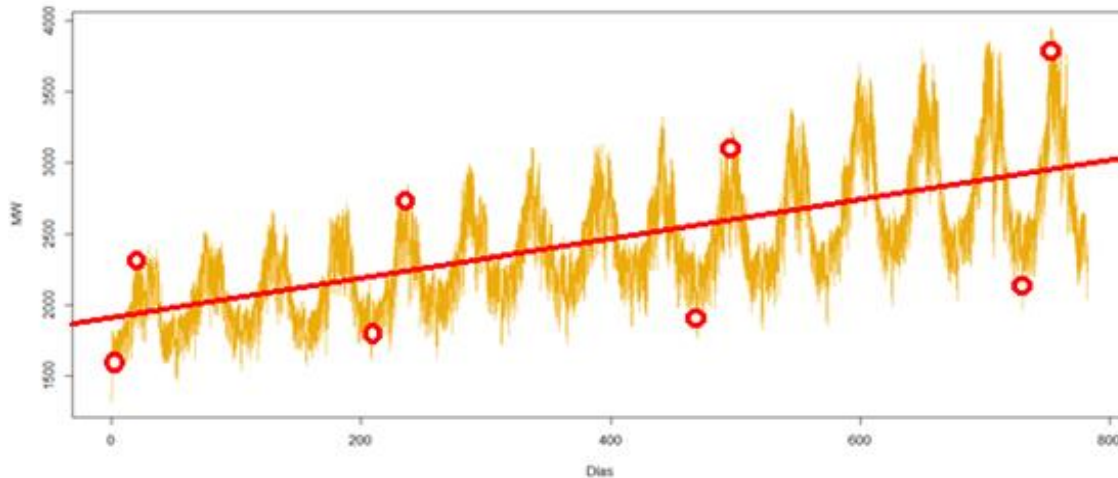


Figura 3.6 Ejemplo de ciclo en una serie de tiempo

La componente irregular son factores impensados que afectan los datos de la serie de tiempo, estas variaciones en los datos son causadas por acontecimientos especiales como huracanes, inundaciones, temblores, etcétera y existen variaciones por casualidad, cuyas causas son difíciles de señalar pero que se estabilizan a lo largo del tiempo (ver figura 3.7).

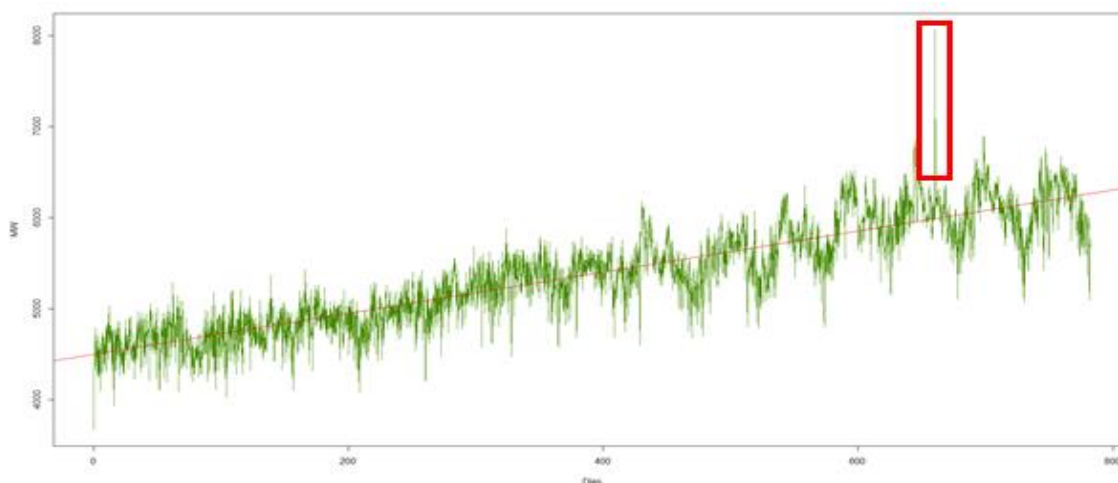


Figura 3.7 Ejemplo de componente irregular en una serie de tiempo



Por otra parte, una **serie de tiempo no estacional** es aquella la cual no presenta un movimiento periódico de la serie de tiempo (componente estacional), pero puede existir la componente irregular y solamente se puede realizar la proyección según el comportamiento de la tendencia.

### 3.2.3 Modelo

Habiendo definido que existen series de tiempo estacionales y no estacionales, a continuación se describen los modelos matemáticos convencionales para realizar proyecciones de series de tiempo.

Para generar las proyecciones de las **series no estacionales** es necesario la utilización de los denominados procedimientos clásicos, los cuales son: promedio móvil simple, suavización exponencial simple, promedio móvil doble y suavización exponencial doble; que a continuación se describen.

El método de promedio móvil simple se utiliza cuando se quiere dar más importancia a un grupo de datos más recientes para obtener una proyección.

Cada punto de una media móvil de una serie de tiempo es la media aritmética de un número de puntos consecutivos de la serie, donde el número de puntos es elegido de tal manera que los efectos de la componente irregular sea eliminada.

El promedio móvil simple está dado por la siguiente ecuación:

$$\dot{X}_t = \frac{\sum_{t=1}^n X_{t-1}}{n}$$



Donde:

$\dot{X}_t$ : Promedio de las observaciones en el período t.

$\Sigma$ : Sumatoria de datos.

$X_{t-1}$ : Observaciones de los períodos anteriores a t.

n: Número de datos.

El método de **suavización exponencial simple** calcula el promedio de una serie de tiempo con un mecanismo de autocorrección que permite ajustar la proyección mediante una corrección que es afectada por un coeficiente de suavización ( $\alpha$ ). Este método utiliza tan sólo tres tipos de datos: el valor de la proyección del último período, la observación del último período y el coeficiente de suavización ( $\alpha$ ).

$$\dot{X}_t = X_{t-1} + [ \alpha * (X_{t-1} - \dot{X}_{t-1}) ]$$

$$\alpha = \frac{2}{n - 1}$$

Donde:

$\dot{X}_t$ : Promedio de las observaciones en el período t.

$\dot{X}_{t-1}$ : Proyección de las observaciones del periodo t-1.

$X_{t-1}$ : Observaciones del período t-1.

n: Número de datos.

$\alpha$ : Coeficiente de suavización ( $0 < \alpha < 1$ ).

El método de **promedio móvil doble** consiste en calcular un conjunto de promedios móviles y en seguida se calcula un segundo conjunto como promedio móvil del primero. Se utiliza para realizar proyecciones de series de tiempo que tienen una tendencia lineal, ya que maneja mejor la tendencia lineal que el



“Método del Promedio Móvil Simple” el cual presenta un atraso respecto de la serie de tiempo original.

El método de promedio móvil doble queda descrito con la siguiente ecuación:

$$\dot{X}_t = \sum_{t=1}^n C_i * X_{t-1}$$

Donde:

$\dot{X}_t$ : Promedio de las observaciones en el período t.

$\Sigma$ : Sumatoria de datos.

$C_i$ : Factor de ponderación.

$X_{t-1}$ : Observaciones de los períodos anteriores a t.

n: Número de datos.

El método de **suavización exponencial doble** consiste en estimar la tendencia a un conjunto de datos mediante una suavización exponencial y posteriormente se actualiza la primera estimación de tendencia mediante otro suavizamiento exponencial, esto debido al rezago que contiene la primera estimación de tendencia, a este método se le conoce como suavización exponencial doble.

El método de suavización exponencial doble queda descrito por las siguientes ecuaciones:

❖ Proyección del periodo t

$$\dot{X}_t = \dot{X}'_t + T_t$$



- ❖ La serie suavizada exponencialmente (primera suavización)

$$\hat{X}'_t = \alpha(\hat{X}_{t-1}) + [(1 - \alpha)(\hat{X}'_{t-1} + T_{t-1})]$$

- ❖ El estimado de la tendencia

$$T_t = \beta(\hat{X}'_t - \hat{X}'_{t-1}) + [(1 - \beta)(T_{t-1})]$$

Donde:

$\hat{X}_t$ : Panorama futuro del período t.

$\hat{X}_{t-1}$ : Panorama futuro del periodo t-1.

$\hat{X}'_t$ : Suavización exponencial del período t.

$\hat{X}'_{t-1}$ : Suavización exponencial del período t-1.

$T_t$ : Tendencia del periodo t.

$T_{t-1}$ : Tendencia del periodo t-1.

$\alpha$ : Coeficiente de suavización (entre 0 y 1).

$\beta$ : Coeficiente de suavización para la tendencia (entre 0 y 1).

Ahora, describiremos los modelos para obtener la proyección de series de tiempo estacionales, los más utilizados son: **aditivo, multiplicativo y aditivo y multiplicativo de Holt-Winters**.

El **aditivo** es adecuado cuando la estacionalidad no depende de otras componentes, como la tendencia. El modelo queda descrito mediante la siguiente ecuación:

$$X_t = m_t + S_t + Y_t$$

Donde:

$X_t$ : Una serie de tiempo.



$m_t$ : Componente de tendencia.

$S_t$ : Componente estacional.

$Y_t$ : Componente irregular

Si por lo contrario la estacionalidad varía con la tendencia el modelo más adecuado es el **multiplicativo**. El modelo es descrito mediante la siguiente ecuación:

$$X_t = m_t * S_t * Y_t$$

Donde:

$X_t$ : Una serie de tiempo.

$m_t$ : Componente de tendencia.

$S_t$ : Componente estacional.

$Y_t$ : Componente irregular

El método **holt-winters aditivo** obtiene una proyección confiable cuando el patrón estacional no cambia conforme la serie de tiempo incrementa o disminuye de valor. Calcula los estimados de la componente de tendencia, nivel y estacionalidad, las siguientes ecuaciones lo describen:

Nivel: 
$$L_t = \alpha(Y_t - S_{t-p}) + [(1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1})]$$

Tendencia: 
$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$

Factor estacional: 
$$S_t = \gamma(Y_t - L_t) + (1 - \gamma)S_{t-p}$$

Proyección: 
$$\hat{Y}_t = L_{t-1} + T_{t-1} + S_{t-p}$$

Donde:

$L_t$ : Estimación exponencialmente suavizada para el período **t**.

$L_{t-1}$ : Estimación exponencialmente suavizada para el período **t-1**.

$T_t$ : Estimación de la tendencia en el tiempo **t**.





- $T_{t-1}$ : Estimación de la tendencia en el tiempo **t-1**.  
 $Y_t$ : Valor real observado de la serie en el tiempo **t**.  
 $S_t$ : Índice de la estacionalidad en el período **t**.  
 $S_{t-p}$ : Índice de la estacionalidad en el período **t-p**.  
 $\alpha$ : Constante de suavización exponencial simple.  
 $\beta$ : Constante de suavización exponencial de tendencia.  
 $\gamma$ : Constante de corrección de estacionalidad.

Estas ecuaciones dan mayor importancia a observaciones recientes que a observaciones pasadas de una serie de tiempo. Los valores de los parámetros  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  son valores que afectan la proyección.

El método **holt-winters multiplicativo** se aplica cuando la magnitud del patrón estacional se incrementa conforme los valores de los datos aumentan, y decrece cuando los valores de los datos disminuyen. El método está representado por las siguientes ecuaciones:

Nivel: 
$$L_t = \alpha(Y_t/S_{t-p}) + [(1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1})]$$

Tendencia: 
$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$

Factor estacional: 
$$S_t = \gamma(Y_t/L_t) + (1 - \gamma)S_{t-p}$$

Proyección: 
$$\hat{Y}_t = (L_{t-1} + T_{t-1})S_{t-p}$$

Donde:

- $L_t$ : Estimación suavizada para el período **t**.  
 $L_{t-1}$ : Estimación suavizada para el período **t-1**.  
 $T_t$ : Estimación de la tendencia en el tiempo **t**.  
 $T_{t-1}$ : Estimación de la tendencia en el tiempo **t-1**.  
 $Y_t$ : Valor real observado de la serie en el tiempo **t**.  
 $S_t$ : Índice de la estacionalidad en el período **t**.



$S_{t-p}$ : Índice de la estacionalidad en el período **t-p**.

$\alpha$ : Constante de suavización exponencial simple.

$\beta$ : Constante de suavización exponencial de tendencia.

$\gamma$ : Constante de corrección de estacionalidad.

### 3.2.4 Aplicaciones desarrolladas para SIMISE

A continuación, se describen las aplicaciones que se desarrollaron para el módulo hidrocarburos de SIMISE. El conjunto de aplicaciones fueron diseñadas, codificadas y posteriormente integradas a la plataforma computacional del SIMISE. En su conjunto forman una herramienta muy valiosa, que sirve para experimentar los diferentes análisis estadísticos de series de tiempo descritos anteriormente, con datos de producción de hidrocarburos de diferentes regiones y/o campos en México. El objetivo es obtener un amplio abanico de proyecciones de producción de hidrocarburos. Estas proyecciones pueden ser muy valiosas para la toma de decisiones del sector energético y son información valiosa para definir las restricciones de disponibilidad de volúmenes de gas y petróleo domésticos, en la planeación del sistema de generación de electricidad y del sistema de refinación que son modelados en SIMISE.

La aplicación denominada “**Métodos No Estacionales**” versión 1.0 fue desarrollada mediante el software Matlab R2013b bajo un sistema operativo Windows 8 de 32 bits. Esta herramienta sirve para realizar la proyección de la producción de hidrocarburos a través de métodos y parámetros seleccionados previamente por el usuario, obteniendo así los resultados esperados.

En el siguiente cuadro se puntualiza su uso, la acción del usuario y la respuesta de la aplicación.



<b>Aplicación de Métodos No Estacionales</b>		
<b><i>Acción del usuario</i></b>	<b><i>Respuesta de la aplicación</i></b>	<b><i>Ver Figura</i></b>
Botón cargar datos	En la sección de datos de la aplicación, se verán reflejados los valores de los datos del Excel seleccionado.	Figura 3.8
Selección del método	En esta sección se puede elegir entre varios métodos estadísticos para poder realizar la proyección de la serie de tiempo.	Figura 3.9
Selección de periodos de previsión	En esta sección se establecen los periodos que se necesitan de proyección.	Figura 3.10
Selección del valor de los parámetros	En esta sección el usuario experto elige el valor de los parámetros “alfa” y “beta” para la proyección deseada según el método seleccionado.	Figura 3.11
Botón Ejecutar	En esta sección tomando la selección y valores del usuario, se ejecuta la proyección, obteniendo como resultados la proyección, la estadística y la gráfica actualizada.	Figura 3.12
Botón exportar resultados	En esta sección el usuario puede guardar en Excel los resultados obtenidos.	Figura 3.13
Botón salir	Este botón tiene como acción salir de la aplicación.	Figura 3.14

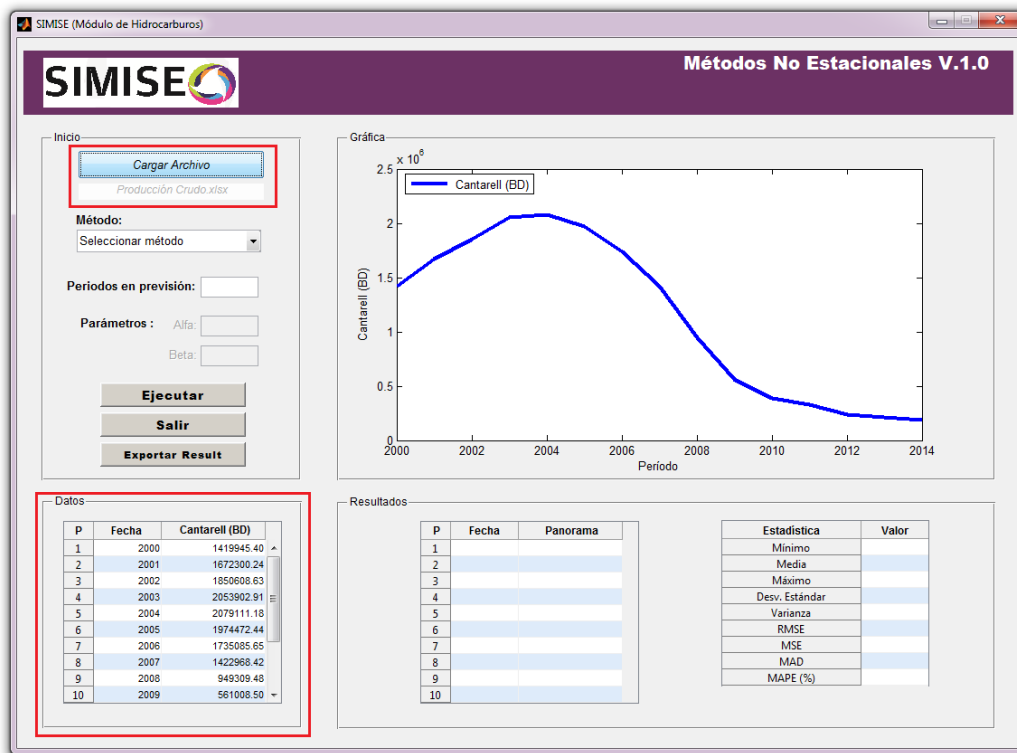


Figura 3.8 Cargar archivo de datos

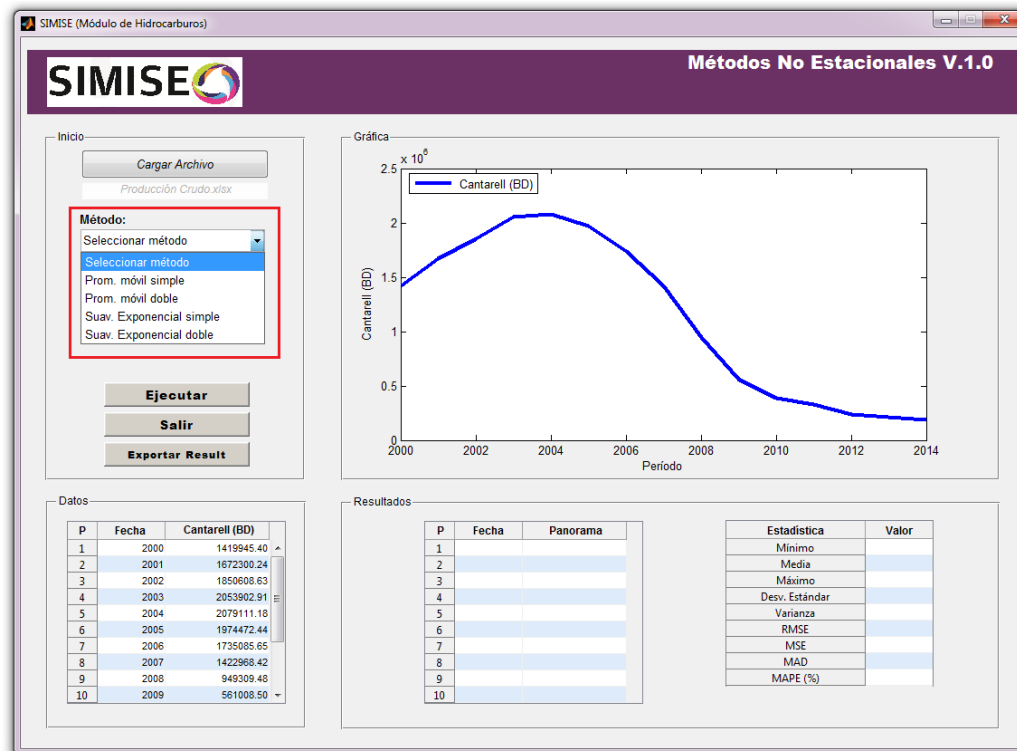


Figura 3.9 Seleccionar método estadístico

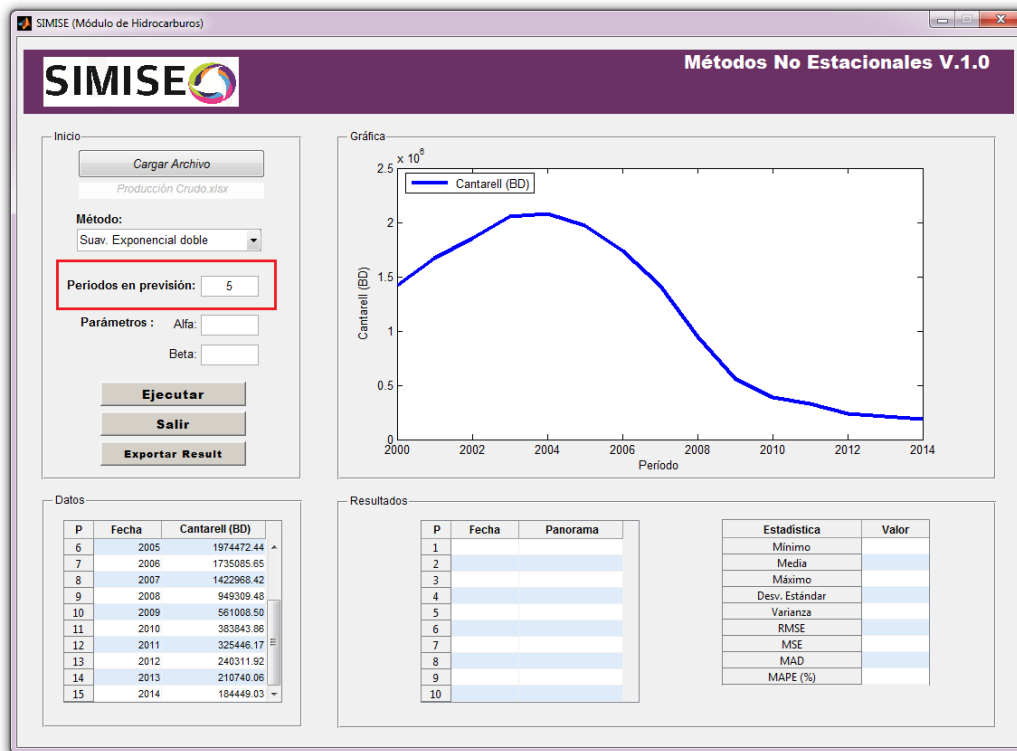


Figura 3.10 Selección de periodos de previsión

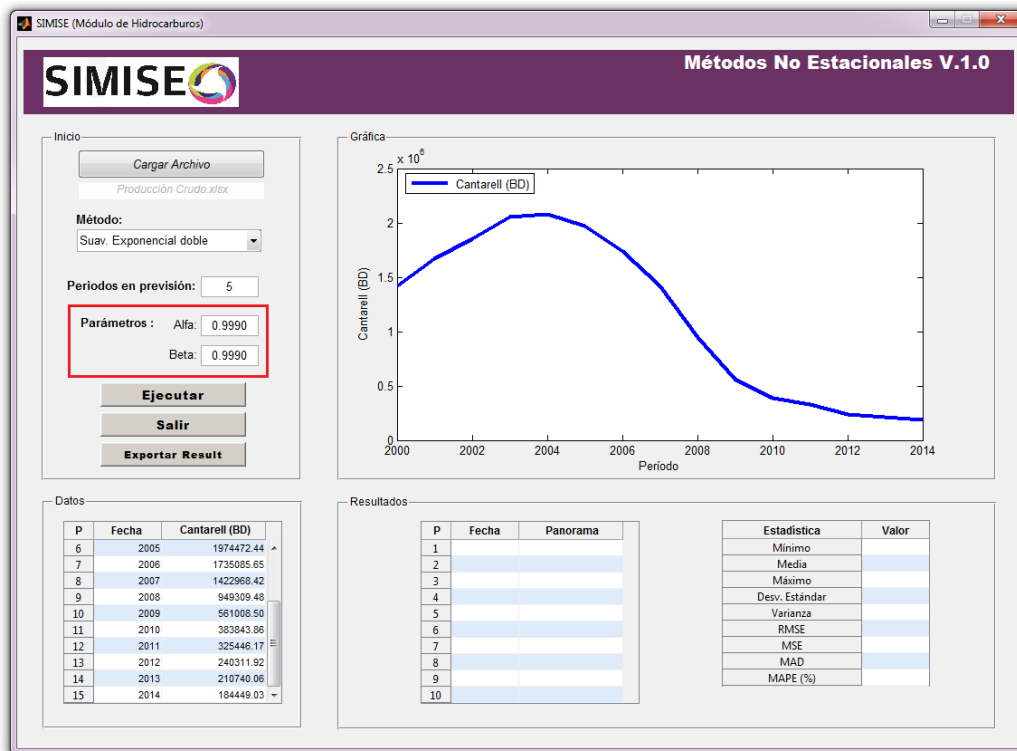


Figura 3.11 Selección de parámetros de suavización

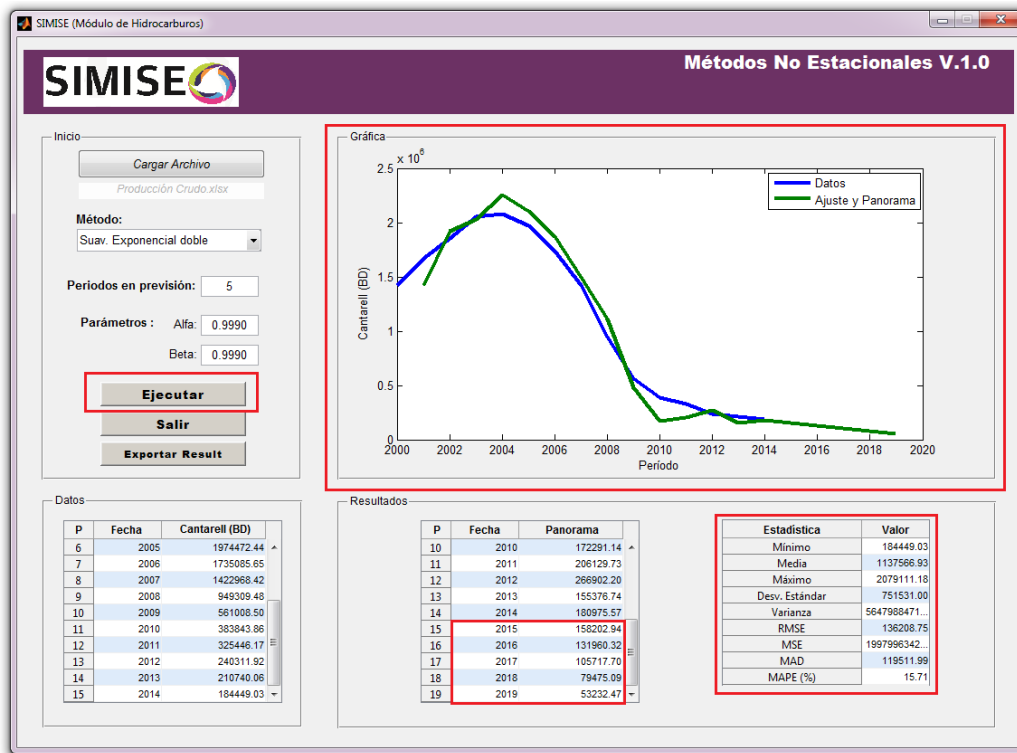


Figura 3.12 Ejecutar análisis

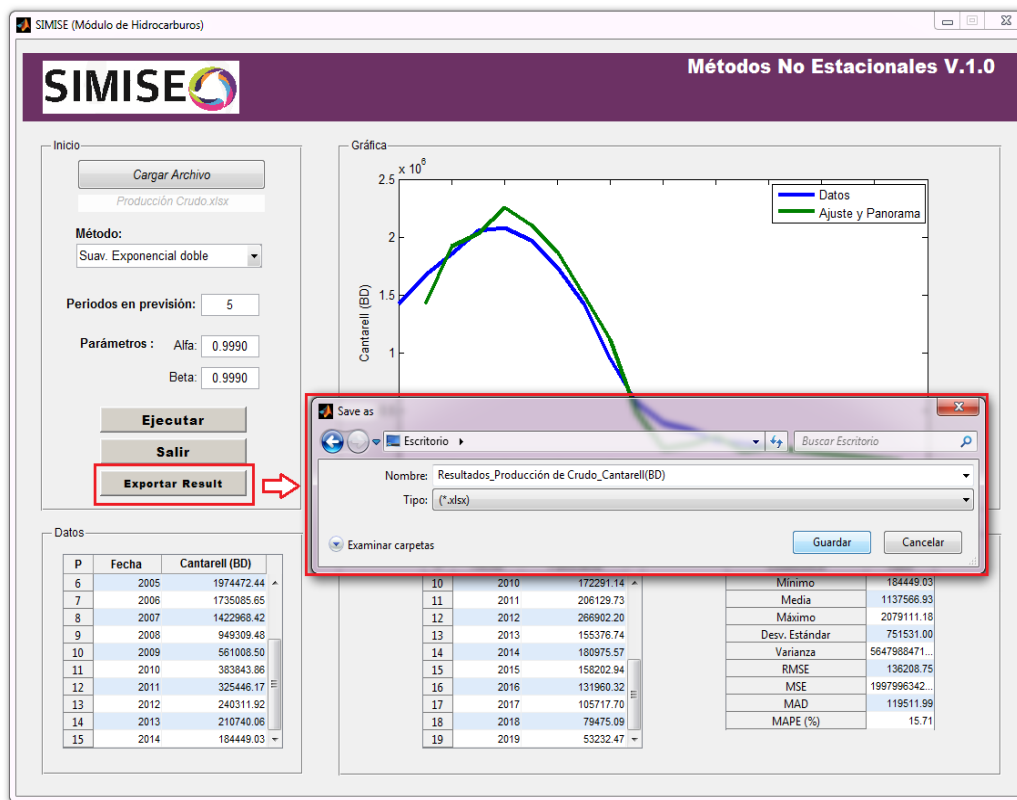


Figura 3.13 Exportar resultados a Excel

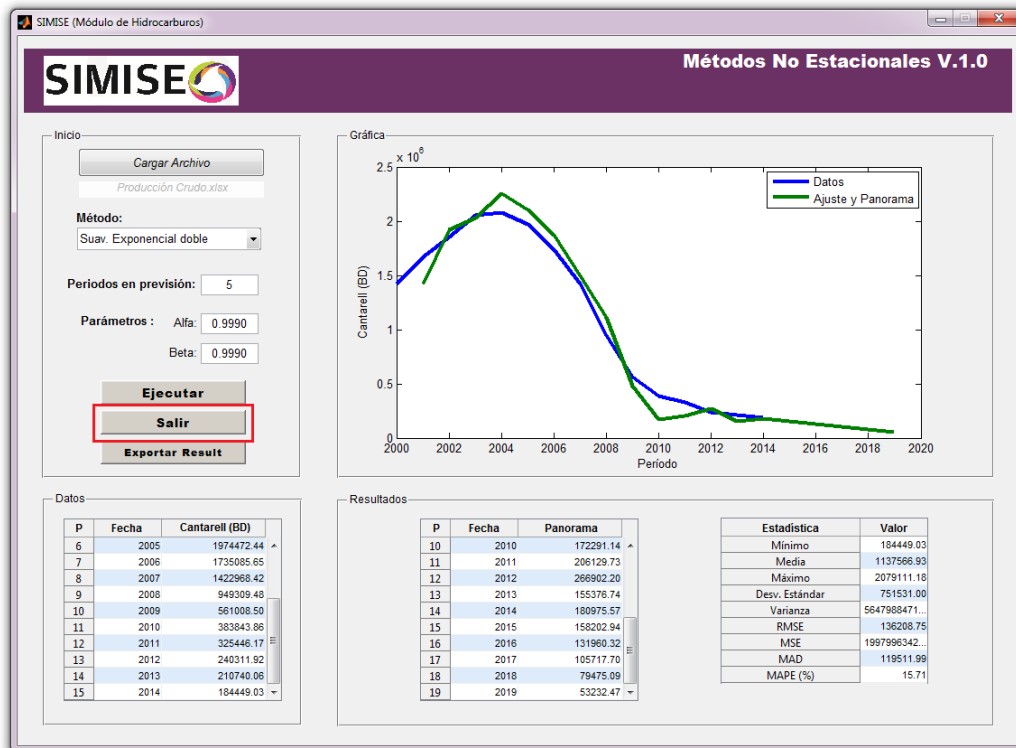


Figura 3.14 Salir de la aplicación

La aplicación denominada “**Métodos Estacionales**” versión 1.0, fue desarrollada mediante el software Matlab R2013b, bajo un sistema operativo Windows 8 de 32 bits, la cual consiste en realizar proyecciones de la producción de hidrocarburos mediante métodos de pronóstico complejos y parámetros de control antes descritos y que son seleccionados previamente por el usuario mostrando finalmente los resultados.

En el siguiente cuadro se puntualiza su uso, la acción del usuario y la respuesta de la aplicación.



<b>Aplicación de Métodos Estacionales</b>		
<b><i>Acción del usuario</i></b>	<b><i>Respuesta de la aplicación</i></b>	<b><i>Ver Figura</i></b>
Botón cargar datos	En la sección de datos de la aplicación, se verán reflejados los valores de los datos del Excel seleccionado.	Figura 3.15
Selección de la estacionalidad de los datos	En esta sección el usuario puede seleccionar de una lista desplegable la estacionalidad de los datos (bimestral, trimestral,..., etc.) o podrá agregar manualmente la estacionalidad según el análisis de la serie de tiempo.	Figura 3.16
Selección del método	En esta sección se puede elegir entre varios modelos para poder realizar la proyección de la serie de tiempo.	Figura 3.17
Selección de periodos de previsión	En esta sección se establecen los periodos que se necesitan de proyección.	Figura 3.18
Selección del valor de los parámetros	En esta sección el usuario experto elige el valor de los parámetros “alfa”, “beta” y “gamma” para realizar la proyección según el método seleccionado.	Figura 3.19
Botón Ejecutar	En esta sección tomando la selección y valores del usuario, se ejecuta la proyección, obteniendo como resultados la proyección, la estadística y la gráfica actualizada.	Figura 3.20
Botón exportar resultados	En esta sección el usuario puede guardar en Excel los resultados obtenidos.	Figura 3.21
Botón salir	Este botón tiene como acción salir de la aplicación.	Figura 3.22



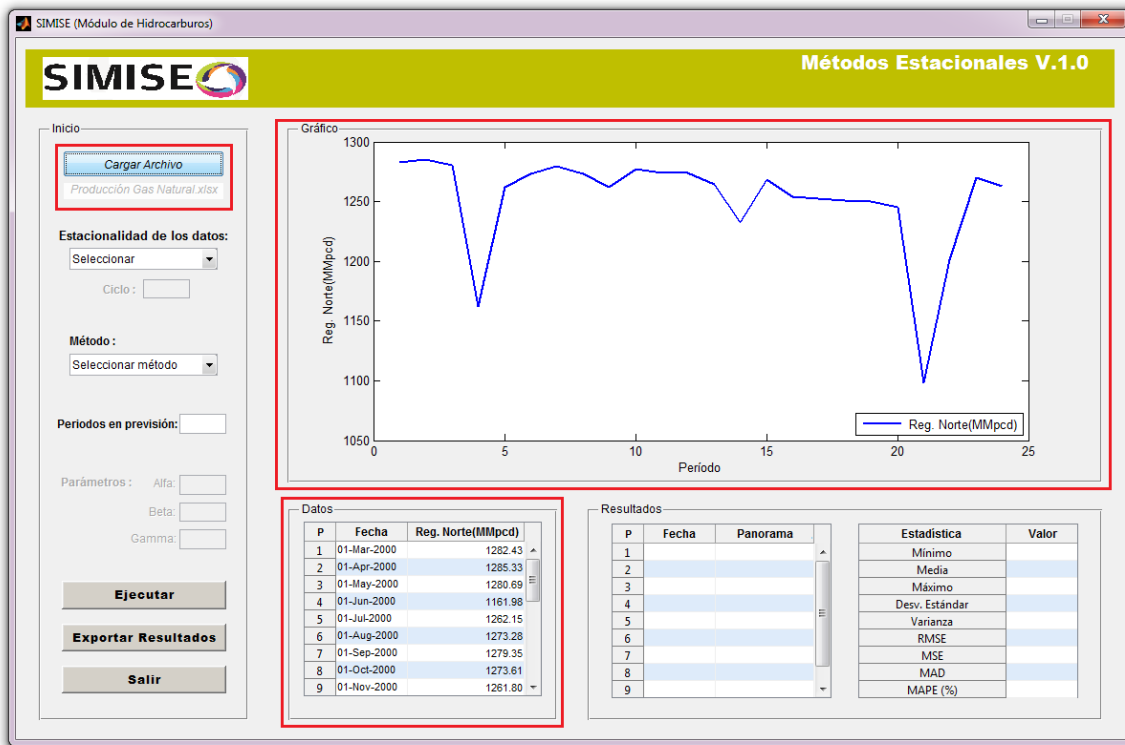


Figura 3.15 Cargar archivo de datos

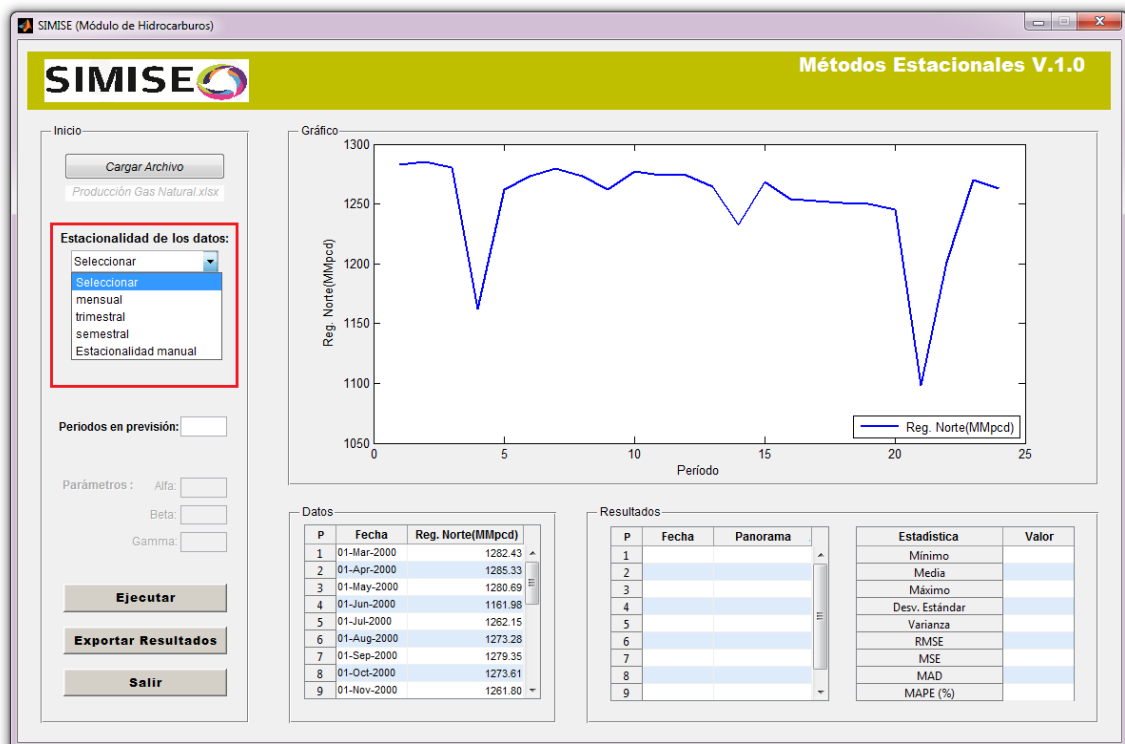


Figura 3.16 Seleccionar la estacionalidad

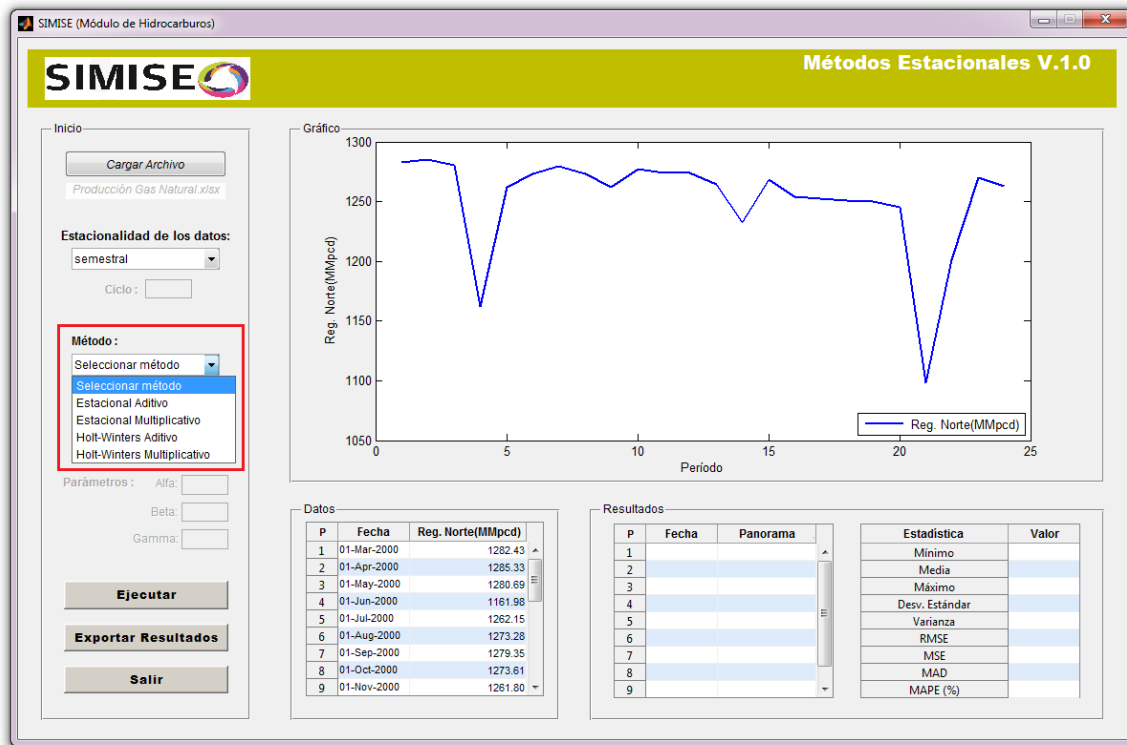


Figura 3.17 Seleccionar método

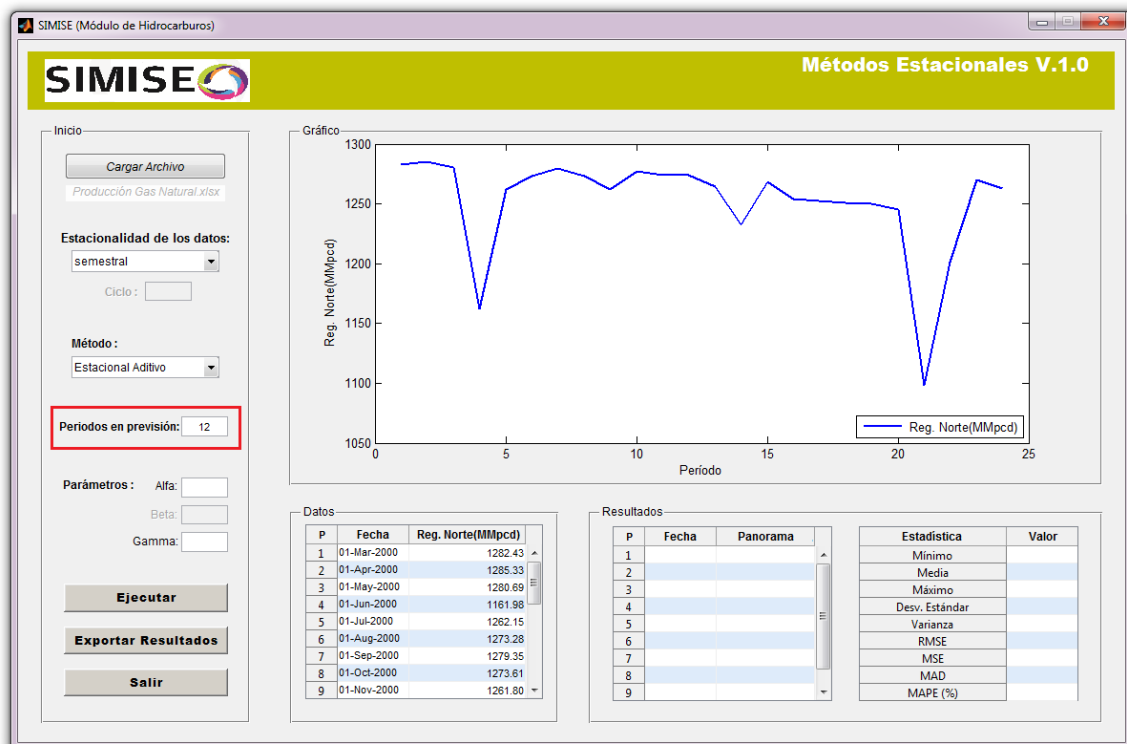


Figura 3.18 Seleccionar periodos de previsión

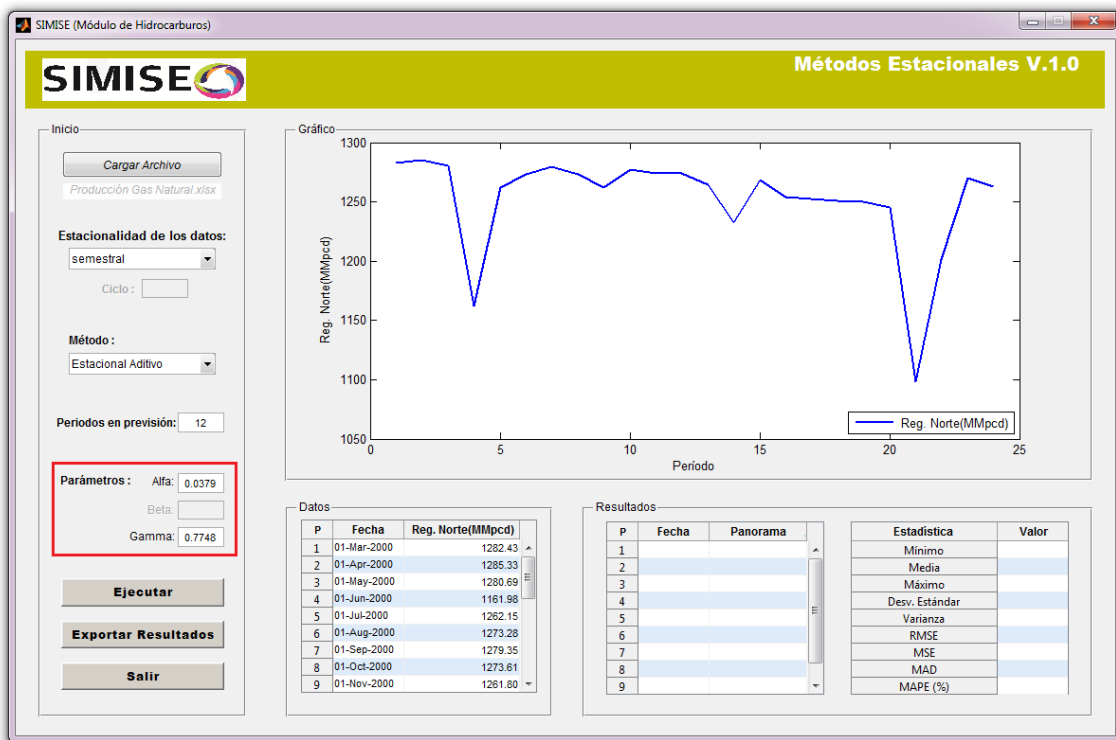


Figura 3.19 Seleccionar parámetros de suavización y corrección

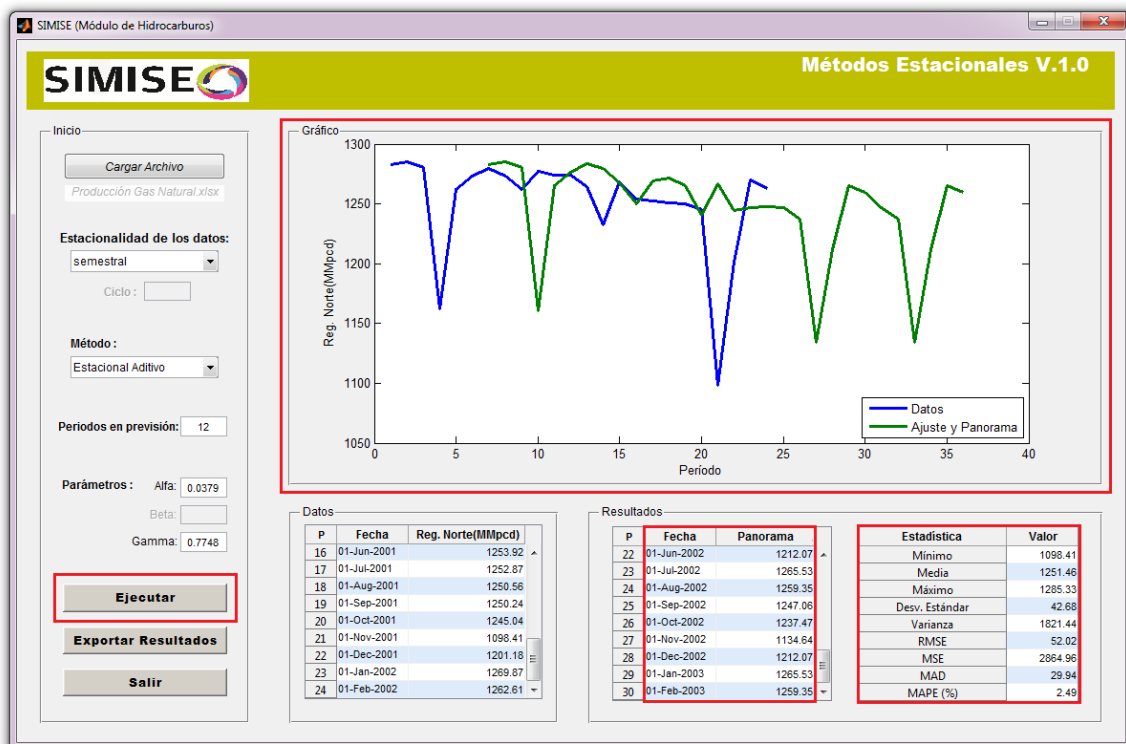


Figura 3.20 Ejecutar

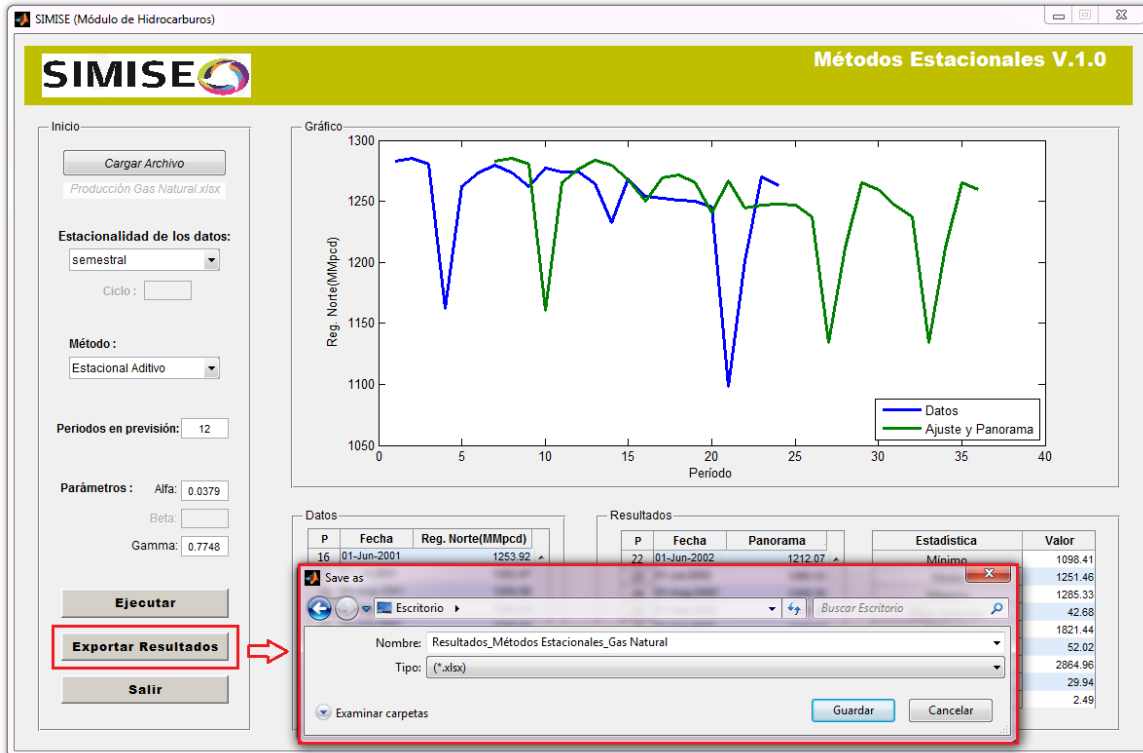


Figura 3.21 Exportar resultados

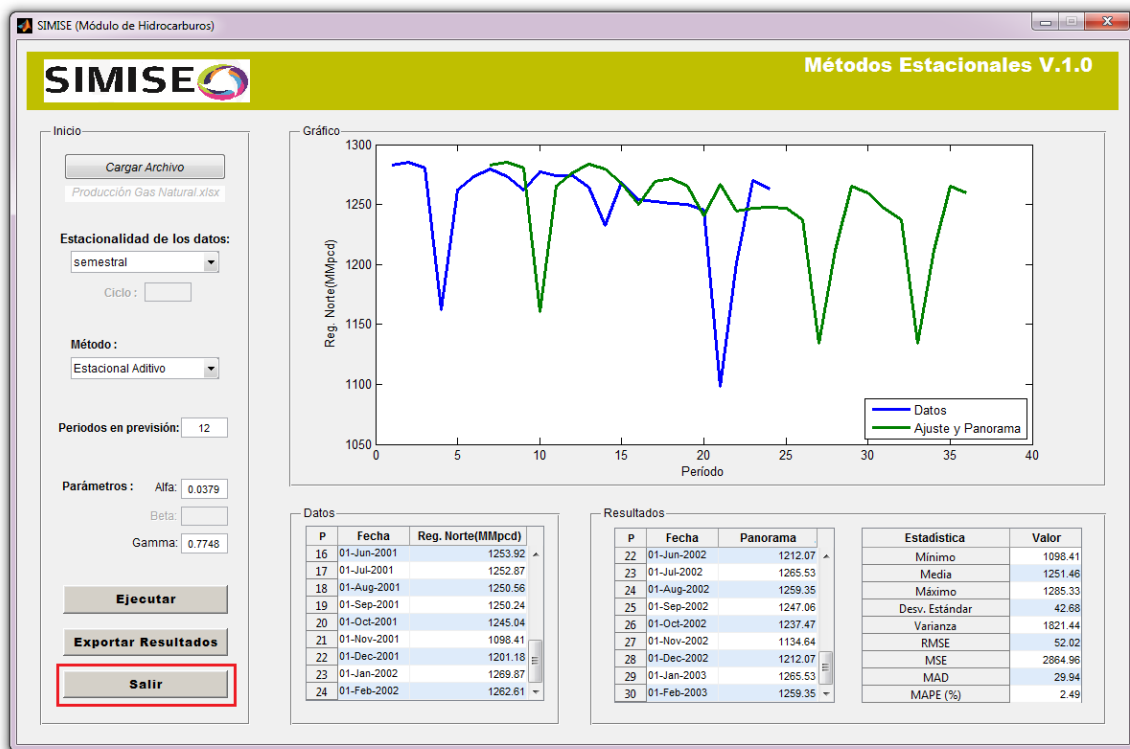


Figura 3.22 Salir



### 3.3 Ejemplo de Aplicación

El objetivo de este punto es mostrar los resultados obtenidos de las aplicaciones desarrolladas para el módulo hidrocarburos de SIMISE contra los resultados de la aplicación comercial **Crystal Ball**.

Para poner a prueba la aplicación desarrollada se utilizaron dos series de tiempo. La primera prueba fue realizada con la serie de tiempo de producción de petróleo total del territorio nacional, los datos son anuales iniciando en año 2000 y finalizando en el año 2014, la unidad es miles de barriles por día (Mbd) y se realizó la proyección para un periodo de previsión de 4 años.

Se inicia el análisis de la serie en **Crystal Ball** consiguiendo los siguientes resultados (ver figura 3.23 y Figura 3.24).

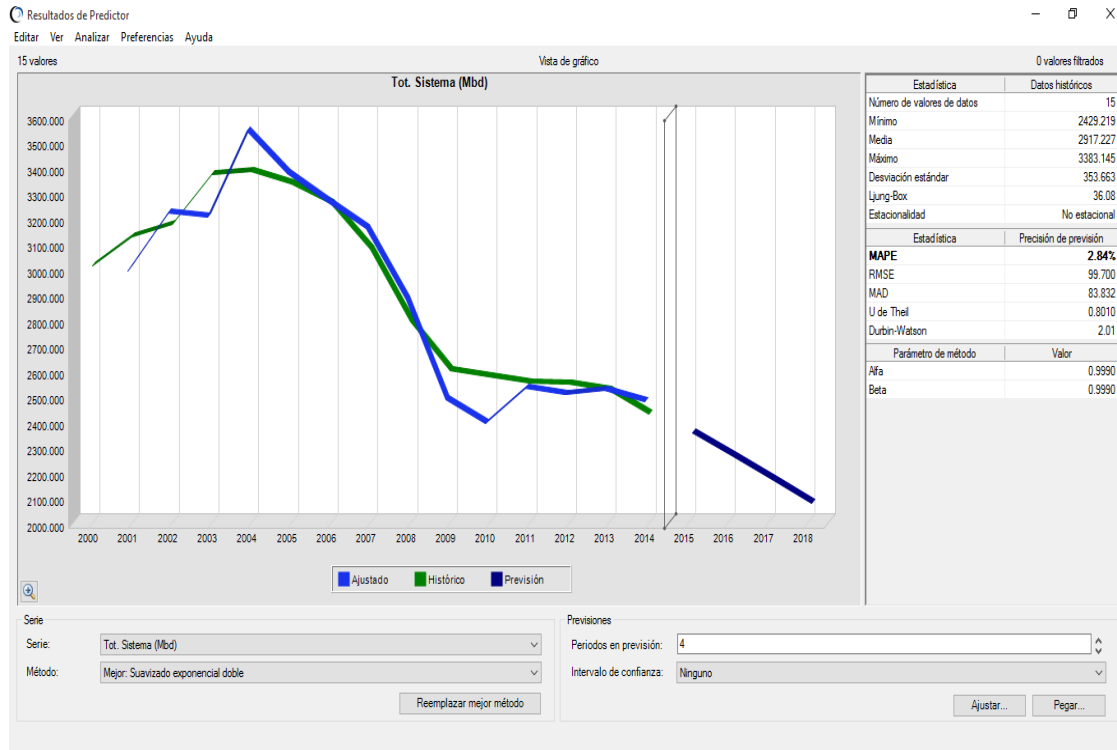


Figura 3.23 Gráfico de resultados de la proyección de la serie de producción de petróleo con Crystal Ball

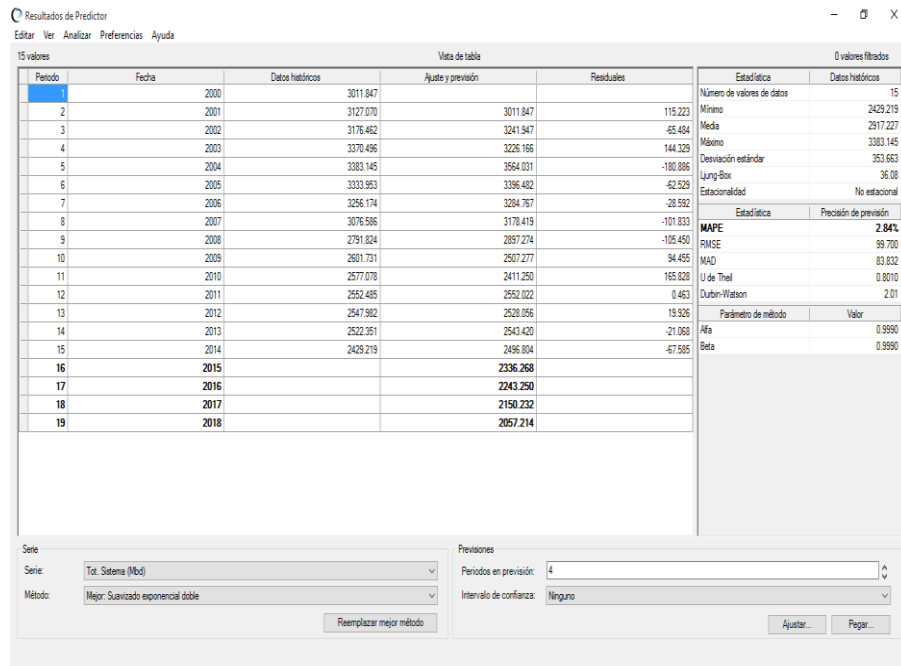


Figura 3.24 Valores de los resultados de la proyección de la serie de producción de petróleo con Crystal Ball

Ahora se realiza el análisis con la aplicación de “Métodos No Estacionales V.1.0” del módulo hidrocarburos de SIMISE, obteniendo los siguientes resultados (ver figura 3.25).

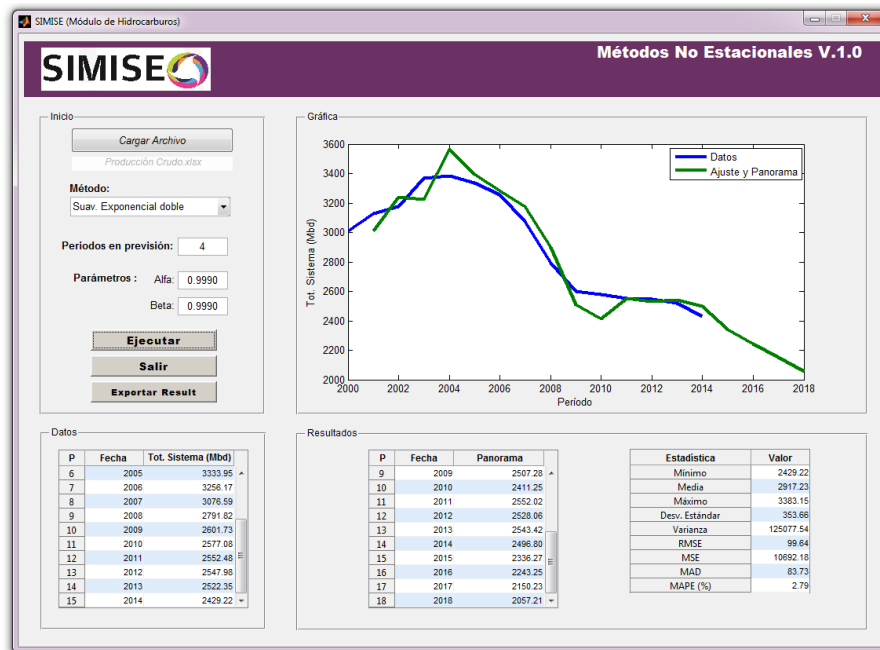


Figura 3.25 Resultados del análisis de la serie de producción de petróleo con la aplicación de métodos no estacionales de SIMISE



Para poner a prueba la aplicación de “**Métodos Estacionales V.1.0**” del módulo hidrocarburos de SIMISE se utiliza la serie de tiempo de producción de gas natural de la región norte, los datos son mensuales del periodo de tiempo comprendido entre diciembre 2000 hasta diciembre 2014, su unidad es millones de pies cúbicos por día (MMpcd). Se comenzó utilizando la aplicación **Crystal Ball** para el análisis y se obtuvieron los siguientes resultados (ver figura 3.26 y Figura 3.27).

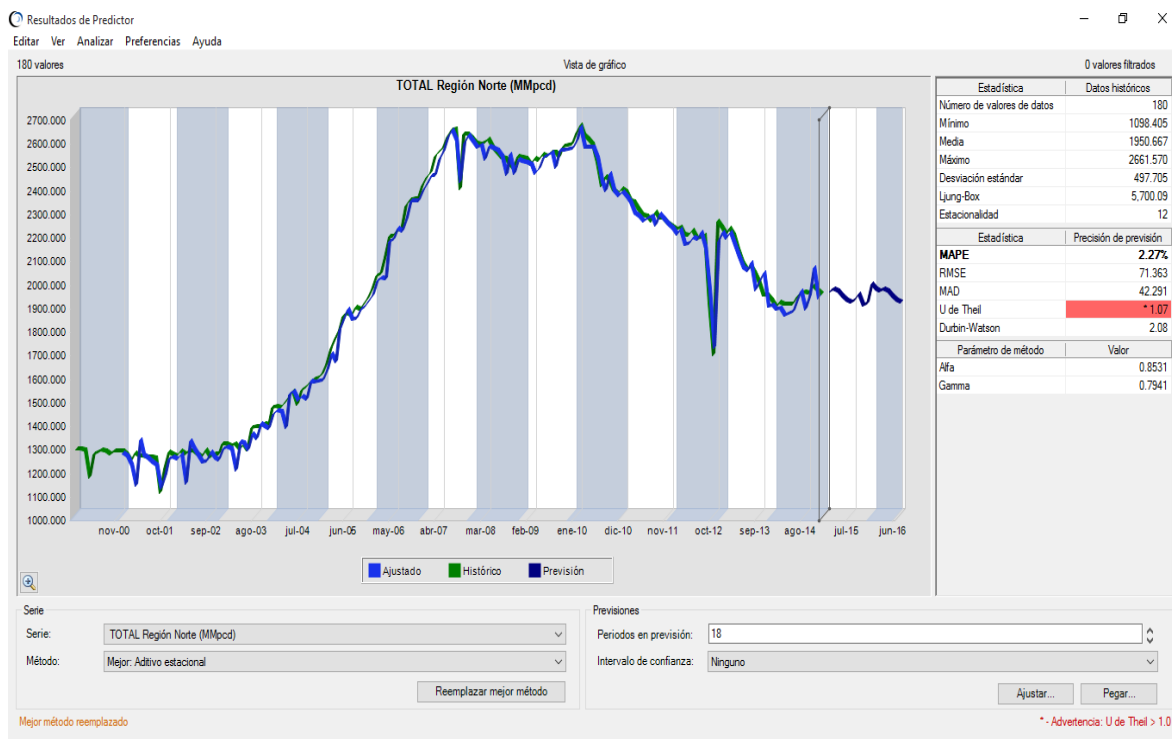


Figura 3.26 Gráfico de resultados de la proyección de la serie de producción de gas natural con Crystal Ball

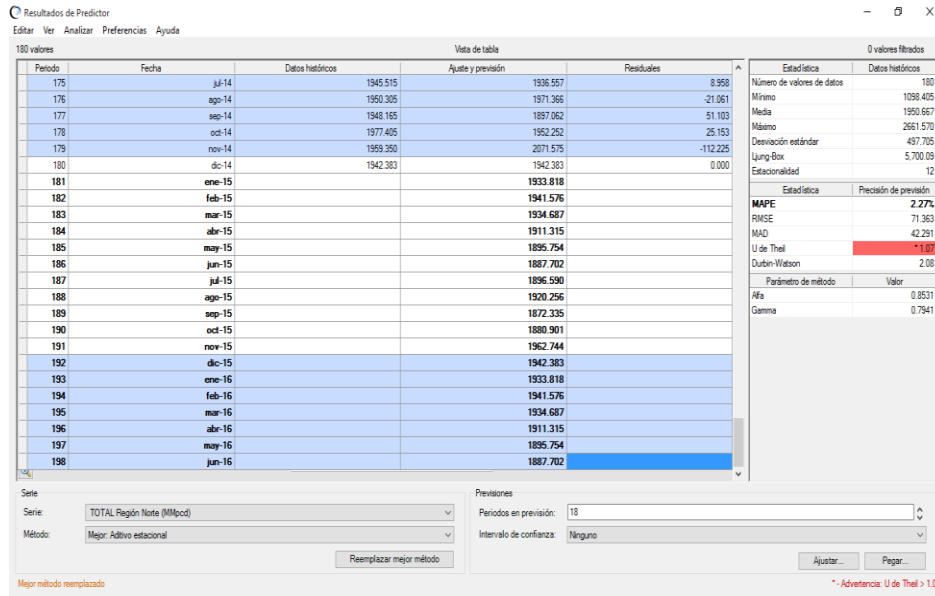


Figura 3.27 Valores de los resultados de la proyección de la serie de producción de gas natural con Crystal Ball

Después de obtener los resultados del análisis con **Crystal Ball**, se continúa con el análisis de la serie con la aplicación de SIMISE, obteniendo los siguientes resultados (ver figura 3.28).

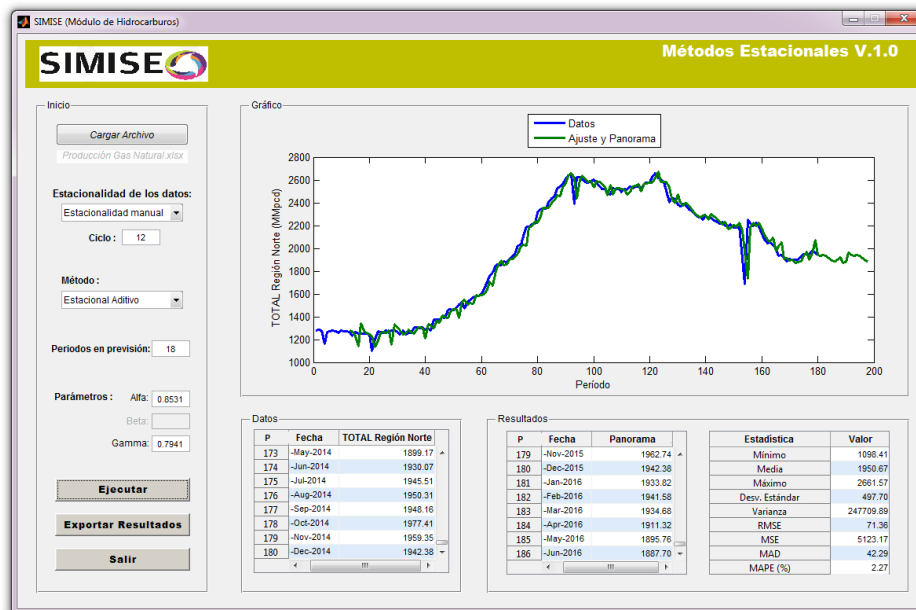


Figura 3.28 Resultados del análisis de la serie de producción de gas natural con la aplicación de métodos estacionales de SIMISE





A continuación, se muestra el resumen de los resultados obtenidos tanto de las aplicaciones del módulo hidrocarburos como de **Crystal Ball**.

Producción de Crudo Total Nacional (Mbd)		
Estadística	App de SIMISE (No estacionales)	Crystal Ball
Val. Mínimo	2429.22	2429.22
Media	2917.23	2917.23
Val. Máximo	3383.15	3383.15
Desv. Est	353.67	353.67
Varianza	125077.54	
RMSE	99.64	99.70
RMS	10692.18	
MAD	83.73	83.83
MAPE (%)	2.80	2.84

Tabla 3.1 Resultados estadísticos para producción de crudo total nacional

Producción de Crudo Total Nacional (Mbd)			
Fecha	Datos (Serie de Tiempo)	Ajuste y Proyección (App de SIMISE)	Ajuste y Proyección (Crystal Ball)
2000	3011.85		
2001	3127.07	3011.65	3011.85
2002	3176.46	3242.01	3241.95
2003	3370.50	3226.17	3226.17
2004	3383.15	3564.03	3564.03
2005	3333.95	3396.48	3396.48
2006	3256.17	3284.77	3284.77
2007	3076.59	3178.42	3178.42
2008	2791.82	2897.27	2897.27
2009	2601.73	2507.28	2507.28
2010	2577.08	2411.25	2411.25
2011	2552.48	2552.02	2552.02
2012	2547.98	2528.06	2528.06
2013	2522.35	2543.42	2543.42
2014	2429.22	2496.80	2496.80
<b>2015</b>		<b>2336.27</b>	<b>2336.27</b>
<b>2016</b>		<b>2243.25</b>	<b>2243.25</b>
<b>2017</b>		<b>2150.23</b>	<b>2150.23</b>
<b>2018</b>		<b>2057.21</b>	<b>2057.21</b>

Tabla 3.2 Resultados de la proyección de producción de petróleo total nacional



Producción de Gas Natural de la Región Norte (MMpcd)		
Estadística	Métodos Estacionales(SIMISE)	Crystal Ball
Val. Mínimo	1098.41	1098.41
Media	1950.67	1950.67
Val. Máximo	2661.57	2661.57
Desv. Estandar	497.70	497.70
Varianza	247709.90	
RMSE	71.36	71.36
RMS	5123.17	
MAD	42.29	42.29
MAPE(%)	2.27	2.27

Tabla 3.3 Resultados estadísticos para producción de gas natural región norte

Producción de Gas Natural de la Región Norte (MMpcd)			
Fecha	Datos (Serie de Tiempo)	Ajuste y Proyección (Métodos Estacionales-SIMISE)	Ajuste y Proyección (Crystal Ball)
01-jun-14	1930.07	1885.30	1885.31
01-jul-14	1945.51	1936.55	1936.56
01-Aug-2014	1950.31	1971.36	1971.37
01-sep-14	1948.16	1897.06	1897.06
01-oct-14	1977.41	1952.24	1952.25
01-nov-14	1959.35	2071.60	2071.58
01-Dec-2014	1942.38	1942.39	1942.38
01-Jan-2015		<b>1933.82</b>	<b>1933.82</b>
01-feb-15		<b>1941.58</b>	<b>1941.58</b>
01-mar-15		<b>1934.68</b>	<b>1934.69</b>
01-Apr-2015		<b>1911.32</b>	<b>1911.32</b>
01-may-15		<b>1895.76</b>	<b>1895.75</b>
01-jun-15		<b>1887.70</b>	<b>1887.70</b>
01-jul-15		<b>1896.58</b>	<b>1896.59</b>
01-Aug-2015		<b>1920.25</b>	<b>1920.26</b>
01-sep-15		<b>1872.32</b>	<b>1872.34</b>
01-oct-15		<b>1880.88</b>	<b>1880.90</b>
01-nov-15		<b>1962.74</b>	<b>1962.74</b>
01-Dec-2015		<b>1942.38</b>	<b>1942.38</b>

Tabla 3.4 Resultados de la proyección de producción de gas natural de la región norte





---

## CAPÍTULO IV. Otras contribuciones al proyecto

---

En este capítulo se explican las contribuciones secundarias realizadas dentro del servicio social en apoyo al proyecto, entre ellas están: el conversor de unidades de energía, apoyo en la programación y desarrollo de interfaces gráficas en Matlab de otras aplicaciones de SIMISE, aporte de ideas y apoyo en los reportes del proyecto.

### **4.1 Conversor de unidades de energía**

En el sector energético se utiliza una gran cantidad de unidades de medición, tanto para diferentes energéticos, como para cantidades del intercambio comercial entre países que usan preferentemente diferentes unidades de medición. La necesidad de manejar distintas unidades se ha extendido al proyecto con el objetivo de facilitar al usuario el diferente uso de unidades.



En las aplicaciones, las conversiones que sean siempre iguales estarán previamente programadas y no requerirán de una rutina adicional, en cambio, si una aplicación puede tener entradas en distintas unidades, sí será necesario que tenga rutinas adicionales para realizar las conversiones pertinentes. De este modo, el usuario no tiene que intervenir en la conversión de datos.

A pesar de que se pretende eliminar la necesidad de que el usuario tenga que realizar conversiones fuera de las aplicaciones, el SIMISE ofrece un conversor como herramienta para sus usuarios, ya sea para interpretar los resultados o para cualquier otra actividad externa que requiera el uso de conversiones.

Para realizar las conversiones se utilizan matrices que ya tienen las equivalencias entre las distintas unidades (ver tabla 4.1).

	<i>kilogramo</i>	gramo	libra	tonelada	tonelada corta	tonelada larga
kilogramo	1	1.00E+03	2.20E+00	1.00E-03	1.10E-03	9.84E-04
gramo	1.00E-03	1	2.20E-03	1.00E-06	1.10E-06	9.84E-07
libra	4.54E-01	4.54E+02	1	4.54E-04	5.00E-04	4.46E-04
tonelada	1.00E+03	1.00E+06	2.20E+03	1	1.10E+00	9.84E-01
tonelada corta	9.07E+02	9.07E+05	2.00E+03	9.07E-01	1	8.93E-01
tonelada larga	1.02E+03	1.02E+06	2.24E+03	1.02E+00	1.12E+00	1

**Tabla 4.1 Ejemplo de matriz de equivalencias de masa que utiliza internamente el conversor de unidades**

Esta aplicación ha sido diseñada para tener una interfaz muy sencilla de utilizar, pero con una gran flexibilidad en su operación, ya que puede realizar conversiones entre la misma magnitud, entre magnitudes relacionadas por el poder calorífico, por ejemplo, de unidad de masa o volumen a energía y viceversa. Además, la conversión puede ser tanto escalar, como vectorial y matricial; en estos casos será necesario cargar una plantilla elaborada en Excel para obtener los resultados en un archivo con la misma extensión.



En la Figura 4.1 se observa la interfaz gráfica del conversor uno a uno donde el usuario puede realizar conversiones tanto de unidad física a unidad de energía y viceversa, logrando observar el resultado obtenido así como los factores de conversión del valor a convertir.

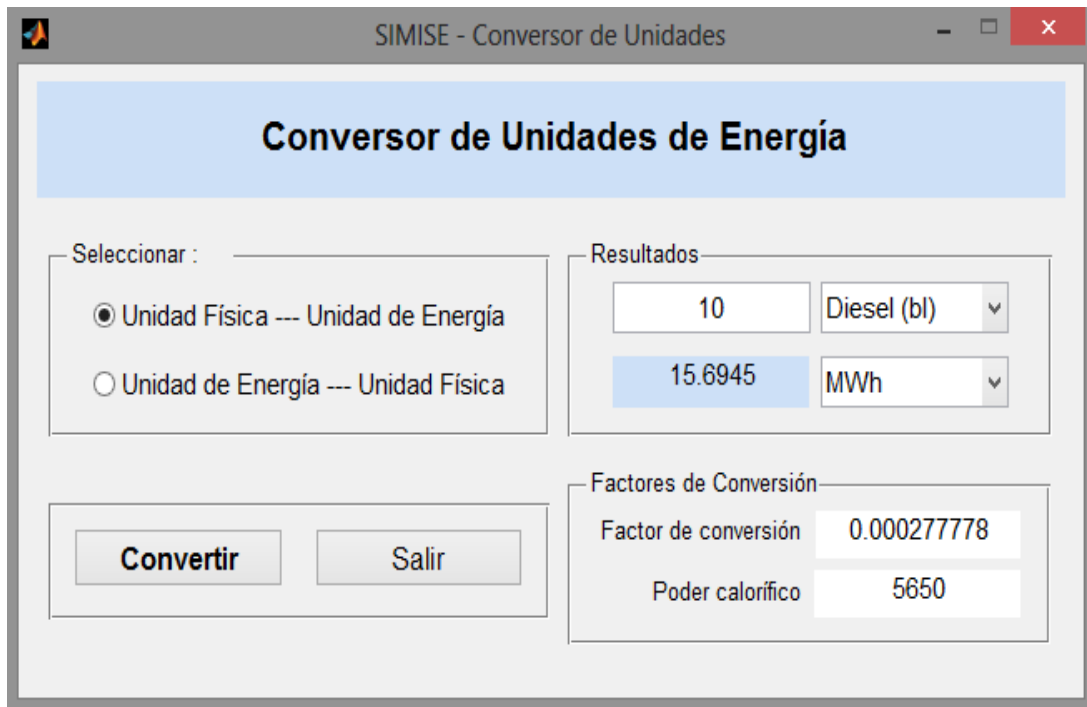


Figura 4.1 Aplicación del conversor de unidades de energía

Como se ha comentado el usuario también puede realizar conversiones de diferentes plantillas elaboradas en Excel. La interfaz incluye instrucciones para su uso, logrando que sea amigable para el usuario (ver figura 4.2).

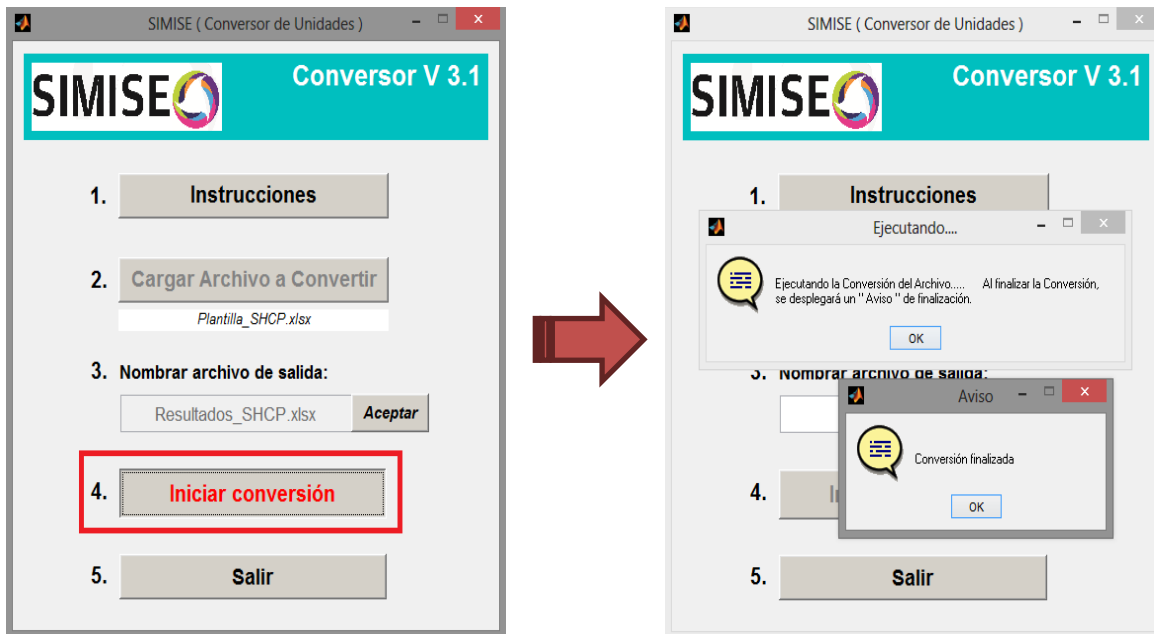


Figura 4.2 Aplicación del conversor con uso de plantillas

Las plantillas que usa el conversor están diseñadas para que el usuario pueda modificar los valores de las variables, con el fin obtener los resultados deseados (ver figura 4.3).

A	B	C	D	E	F	G	H	
1	Selección en A2 la unidad destino	Año: 2012						
2	PJ	Coque de petróleo (t)	Gas licuado (Mb)	Gasolinas y naftas (Mb)	Querosenos (Mb)	Diesel (Mb)	Combustóleo (Mb)	Gas seco (Mpc)
3		16	21	43	49	19	11	33
4	TOTAL CONSUMO FINAL TOTAL	589785.14	19417.7	37901.62	1324.68	40832.14	1834.41	171538522.7
5	Consumo no energetico	0	0	0	0	0	0	0
6	Consumo residencial, Comercial, público	0	13677.64	0	0	0	0	26647186.51
7	Residencial	0	10743.51	0	0	0	0	20043946.09
8	Comercial	0	2934.13	0	0	0	0	6603240.42
9	Público	0	0	0	0	0	0	0
10	Transporte	0	3415.9	37901.62	1324.68	38696.58	65.84	190.1
11	Agropecuario	0	579.28	0	0	0	0	0
12	TOTAL INDUSTRIA	589785.14	1744.88	0	0	2135.56	1768.57	144891146.1
17	Bagazo de caña (t)		J					
18	Bagazo de caña (kg)		kJ					
19	Biogas (m3G)		MJ					
20	Biogas (pc)		GJ					
21	Biogas (Mpc)		TJ					
22	Carbón térmico importación (t)		PJ					
23	Carbón térmico importación (kg)		Wh					
24	Carbón térmico nacional (t)		kWh					

Figura 4.3 Plantilla en Excel para uso en conversor



Una vez finalizado el proceso de conversión, los resultados se guardan en un libro de Excel previamente nombrado por el usuario, así podrá hacer uso del mismo (ver figura 4.4).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2	UNIDAD DE DESTINO:	PJ		Año:	2012			
3								
4		Coque de petróleo	Gas licuado	Gasolinas y naftas	Querosenos	Diesel	Combustóleo	Gas seco
5	TOTAL CONSUMO FINAL TOTAL	18.7304044	81.06889779	194.1320982	7.342701241	230.701591	11.60080887	177.6314423
6	Consumo no energetico	0	0	0	0	0	0	0
7	Consumo residencial, Comercial, público	0	57.1041472	0	0	0	0	27.59367458
8	Residencial	0	44.85415441	0	0	0	0	20.75589201
9	Comercial	0	12.24999279	0	0	0	0	6.837782565
10	Público	0	0	0	0	0	0	0
11	Transporte	0	14.26138255	194.1320982	7.342701241	218.635677	0.416372161	0.000196852
12	Agropecuario	0	2.418494009	0	0	0	0	0
13	TOTAL INDUSTRIA	18.7304044	7.284874026	0	0	12.065914	11.18443671	150.0375709
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								

Figura 4.4 Resultados obtenidos del conversor en Excel

## 4.2 Apoyo en programación e interfaces gráficas

Otra de las contribuciones para el SIMISE es la programación y diseño de la interfaz gráfica de la aplicación llamada “**COSTEL**”, la cual permite calcular costos nivelados de generación eléctrica de cualquier tipo de tecnología, comparar y discriminar tecnologías en función de costos, Tasa Interna de Retorno, Costo/Beneficio y hacer estudios de sensibilidad (ver figura 4.5).



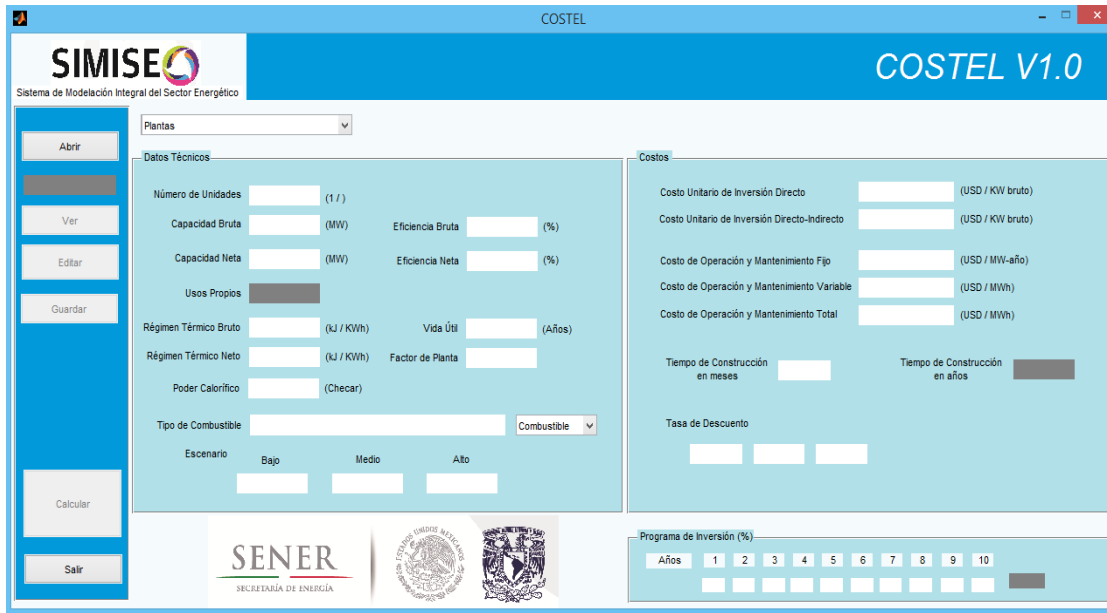


Figura 4.5 Aplicación "COSTEL"

También, se apoyó en la programación y diseño de la interfaz gráfica de la aplicación **SICODEM**, la cual consiste en una aplicación avanzada de consulta y es la herramienta para visualizar resultados y gráficas de series de tiempo de cualquier variable que se use en SIMISE (ver figura 4.6).

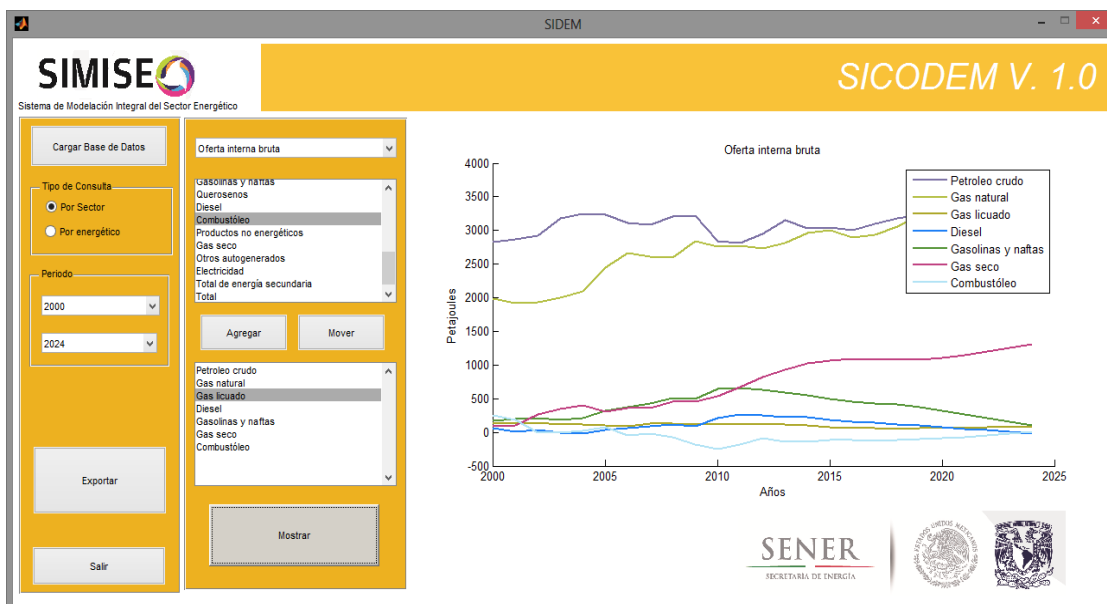


Figura 4.6 Aplicación "SICODEM"



---

La programación y desarrollo de las interfaces gráficas del módulo hidrocarburos de SIMISE y estas aplicaciones fueron diseñadas en entorno Matlab, esto porque Matlab es un software de programación con alto nivel de precisión matemática, además de lograr obtener aplicaciones con vistas atractivas para el usuario.

### **4.3 Apoyo en los reportes del proyecto SIMISE**

En los proyectos colaborativos resulta una tarea común presentar reportes sobre el avance del proyecto, esto porque al cliente le interesa saber el avance del mismo.

Para hacer frente a este cuestionamiento con argumentos sólidos es importante realizar los reportes según los objetivos y los alcances planteados inicialmente para el proyecto por el equipo.

Los reportes deben de contener los logros obtenidos durante el periodo comprendido de entrega, de tal modo que se realizaron los escritos y anexos del módulo hidrocarburos, así como también, se apoyó a realizar los reportes de otros módulos de SIMISE.





---

## CAPÍTULO V. Análisis de resultados y discusión

---

Al conocer la problemática que vive la industria petrolera y tomando en cuenta la reforma energética en México, se desarrolla un software que facilite la planeación del sistema energético de México denominado “**SIMISE**”, derivando de este el módulo hidrocarburos, el cual logra que los datos correspondientes a hidrocarburos estén ordenados mediante una base de datos de tal manera que su consulta sea fácil y rápida, se implemente una aplicación que realice el pronóstico de producción de hidrocarburos con lo que se puede observar el comportamiento futuro de la actividad.

Al comparar los resultados de las aplicaciones del módulo hidrocarburos contra Crystal Ball observamos que los resultados coincidieron, así que, comprobamos que los métodos utilizados para realizar la predicción de series de tiempo de hidrocarburos fueron utilizados y codificados de manera correcta. Ambas aplicaciones son intuitivas, haciendo que su uso sea amigable con el usuario, la capacidad de respuesta de cargar datos, mostrar gráficos, datos y resultados sean rápidos.



---

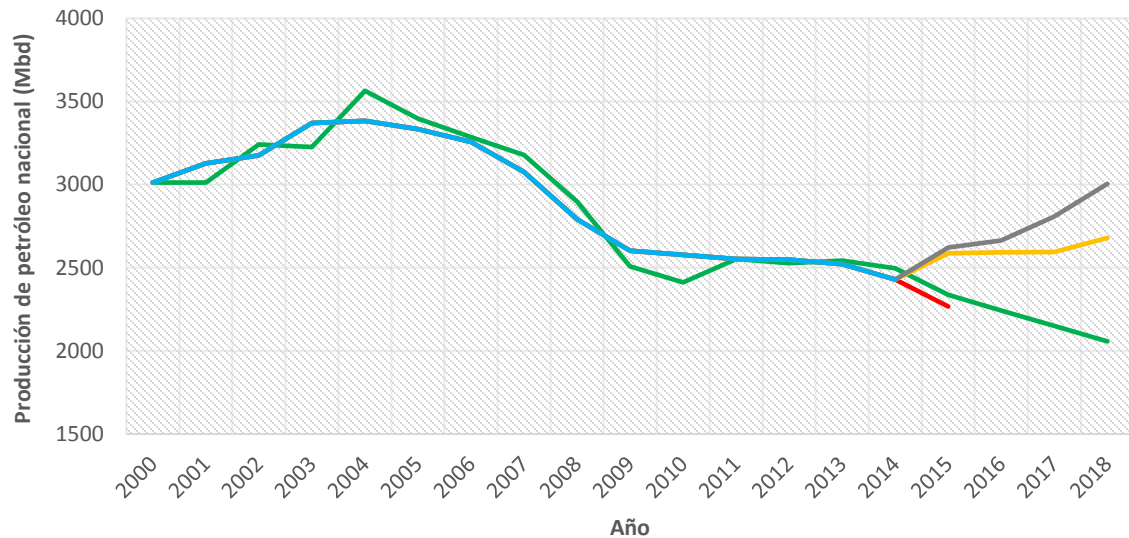
Ahora, veamos que pasa al comparar los resultados obtenidos de la aplicación de métodos no estacionales del módulo hidrocarburos de SIMISE con los Escenarios del Plan de Negocios de PEMEX mostrados anteriormente en la tabla 1.2.

Para realizar el análisis de resultados es necesario tener la siguiente consideración; los datos de la serie histórica de producción de crudo total del sistema que fueron sometidos al análisis comprenden los años del 2000 al 2014, de tal modo que, para presentar un error porcentual de los distintos escenarios, es necesario conocer el dato reportado por SENER de la producción de crudo nacional para 2015, el cual será obtenido del Sistema de Información Energética (SIE) de SENER.

La producción de crudo total del sistema para 2015 promedió 2 266 831 barriles por día (bd); retomando los valores reportados de los escenarios de producción de crudo del plan de negocios de PEMEX y los resultados de la aplicación del módulo hidrocarburos de SIMISE, se deriva lo siguiente:



### Comparación de los distintos escenarios correspondientes a la producción de petróleo en México



- Producción promedio del 2015 (Fuente SIE)
- Aplicación del módulo hidrocarburos de SIMISE
- Escenario 1 del Plan de Negocios de PEMEX
- Escenario 2 del Plan de Negocios de PEMEX
- Serie de tiempo original

Producción de Petróleo Nacional (Mbd)	Error
Producción promedio del 2015 (Fuente SIE)	2 266.83
Escenario 1 del Plan de Negocios de PEMEX	2 587.00 14.1% ↑
Escenario 2 del Plan de Negocios de PEMEX	2 621.00 15.6% ↑
Aplicación del módulo hidrocarburos de SIMISE	2 336.27 3.1% ↑

Observando los resultados podemos decir que la aplicación del módulo hidrocarburos de SIMISE obtuvo un menor error porcentual respecto a la producción de crudo nacional reportada por SENER para el 2015, con esto decimos, que las aplicaciones generan confianza para ser utilizadas por la SENER



---

para realizar las proyecciones y escenarios necesarios que apoyen en la toma de decisiones.

Respecto al conversor, este maneja una gran cantidad de datos y resultados obtenidos por los diferentes módulos de SIMISE, logrando que SENER ahorre tiempo en la conversión de datos y resultados despreocupándose de fallas humanas.

Con esto, la SENER puede contar con aplicaciones que son de uso fácil y que apoyarán a modelar y tomar decisiones respecto a la planeación energética de México.



---

---

## CONCLUSIONES

---

---

Se logró crear un conjunto de aplicaciones que interactúan entre sí, donde la información es analizada y procesada a través de la aplicación del módulo hidrocarburos, que permite la creación de escenarios y proyecciones de la producción de hidrocarburos que representan el sector petrolero y sus interacciones en las diferentes regiones del país, logrando conocer su comportamiento futuro previniendo eventos desafortunados con respecto a la producción de hidrocarburos.

El presente trabajo apoyará a la SENER a través de la Coordinación de Innovación y Desarrollo de la UNAM, en la toma de decisiones en materia de planeación energética marcando un rumbo positivo en la Industria Petrolera en México en apoyo a lo establecido en la Reforma Energética de México.

Teniendo en cuenta el alcance de las aplicaciones del módulo hidrocarburos, éstas pueden tomarse como base sólida para el desarrollo de nuevas aplicaciones de pronósticos de producción de hidrocarburos, mejorando la





---

capacidad de análisis estadístico de datos, interfaz gráfica, capacidad de respuesta de resultados y la optimización de métodos y modelos de predicción de series de tiempo, con la finalidad de profundizar en el estudio de series de tiempo que permita disminuir la incertidumbre generada al realizar proyecciones y escenarios.

Con lo propuesto anteriormente la industria petrolera se verá beneficiada aumentando su valor y creando y mejorando el desarrollo de capital humano para la industria.

Por último, las aplicaciones lograron los objetivos a corto plazo y expectativas que tenía el equipo con respecto al módulo, también podemos decir que al finalizar el proyecto se incrementará la confianza de empresas tanto públicas como privadas para contratar a académicos y estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, para desarrollar nuevos proyectos que beneficien tanto a la sociedad como al país, además mantener y aumentar el prestigio que ha logrado.



---

---

# REFERENCIAS

---

---

## Capítulo 1

1. Prontuario Estadístico del Sector Energético (mayo 2015), Subsecretaría de Planeación y Transición Energética, SENER [Internet] Disponible en: <http://sener.gob.mx/res/380/Prontuario.pdf>
2. Reforma Energética, Resumen ejecutivo [Internet] Disponible en: <http://consulmex.sre.gob.mx/littlerock/images/stories/PDF/re.pdf>
3. Subsecretaría de Planeación y Transición Energética, SENER (2015) [Internet] Disponible en: <http://www.sener.gob.mx/webSener/portal/Default.aspx?id=1665>



- 
4. Principales Elementos del Plan de Negocios de Pemex y sus Organismos Subsidiarios 2014 - 2018, Petróleos Mexicanos (30 de Mayo de 2013) [Internet] Disponible en: [http://www.pemex.com/acerca/plan-de-negocios/Documents/pn\\_14-18\\_131031.pdf](http://www.pemex.com/acerca/plan-de-negocios/Documents/pn_14-18_131031.pdf)

## Capítulo 2

5. Estrategia Nacional de Energía (2014-2028), Secretaría de Energía (SENER), [Internet] Disponible en: <http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/214/ENE.pdf>
6. La Reforma Energética: El nuevo modelo energético de todos los mexicanos, Senador David Penchyna Grub (2014), [Internet] Disponible en: <https://www.tamtu.edu/binationalcenter/documents/01-Senador-David-Penchyna.pdf>
7. La Reforma Energética, Senador David Penchyna Grub (2014), [Internet] Disponible en: <http://exalumnos.itam.mx/noticias/docs/perspectivas14/David-Penchyna.pdf>

## Capítulo 3 (Referencias Técnicas)

8. Pronósticos, Series de Tiempo y Regresión, Tema: Suavización Exponencial, Tecnológico de Monterrey, [Internet] Disponible en: <http://www.mty.itesm.mx/egap/materias/re-4004/Cap8.ppt>
9. Wheelwright, Steven C. (1943). *Forecasting methods for management*.
10. Diebold, Francis X. (1959). *Elements of forecasting*.



11. Bowerman, Bruce L. (1993). *Forecasting and time series: an applied approach*. (2nd ed.).
12. Blaconá M.T., Magnano, L. Andreozzi, L. Instituto de Investigaciones Teóricas y Aplicadas de la Escuela de Estadística, Características de los Modelos de Espacio de Estado de Innovaciones, con aplicaciones. [Internet] Disponible en : [http://www.fcecon.unr.edu.ar/web-nueva/sites/default/files/u16/Decimocuertas/blacona\\_andreozzi\\_magnano\\_caracteristicas\\_de\\_los\\_modelos\\_de\\_espacio.pdf](http://www.fcecon.unr.edu.ar/web-nueva/sites/default/files/u16/Decimocuertas/blacona_andreozzi_magnano_caracteristicas_de_los_modelos_de_espacio.pdf)
13. Series de tiempo, [Internet] Disponible en: <http://www.estadistica.mat.uson.mx/Material/seriesdetiempo.pdf>
14. Promedios Móviles Simples y Dobles, Pamela Piña (2013), [Internet] Disponible en: <https://prezi.com/ixhw5bq3x5k2/promedios-moviles-simples-y-dobles/>
15. Bowerman, Bruce L. (1987). *Time series forecasting: Unified concepts and computer implementation*. (2nd ed.)
16. Clements, Michael P. *Forecasting non-stationary economic time series*.
17. Pronósticos en los Negocios, John E. Hanke and Dean W. Wichem, Editorial Pearson Educación, Octava edición (2006), [Internet] Disponible en: <https://books.google.com.mx/books?id=WaiOrL8oct4C&pg=PA111&dq=promedio+movil+doble&hl=es419&sa=X&ei=o3TuVP2dCMutyASF1ILgAw&ved=0CCMQ6AEwAQ#v=onepage&q=promedio%20movil%20doble&f=false>



- 
18. Modelos de Pronóstico, Promedio Móvil Doble (2013), [Internet] Disponible en:  
<http://paginasprodigy.com/sylsr/ingenierias/pronosticos/Promedio%20M%C3%B3vil%20Doble.html>
19. Pronósticos, Modelo de Holt-Winters, Andrés Lugo (2012), [Internet] Disponible en: [https://prezi.com/o51err0krp\\_u/modelo-de-holt-winters-aditivo/](https://prezi.com/o51err0krp_u/modelo-de-holt-winters-aditivo/)
20. Danae Mirel Martínez Vargas. “*Apuntes de Análisis y Aplicación de Series de Tiempo en R*”. México, Applied Mathematics and Actuary Training (AMAT), Abril 2015.