



SIMISE

SISTEMA DE MODELACIÓN INTEGRAL DEL SECTOR ENERGÉTICO

La Planeación del Sistema Eléctrico Nacional

Dra. Cecilia Martín del Campo Márquez, Facultad de Ingeniería - UNAM

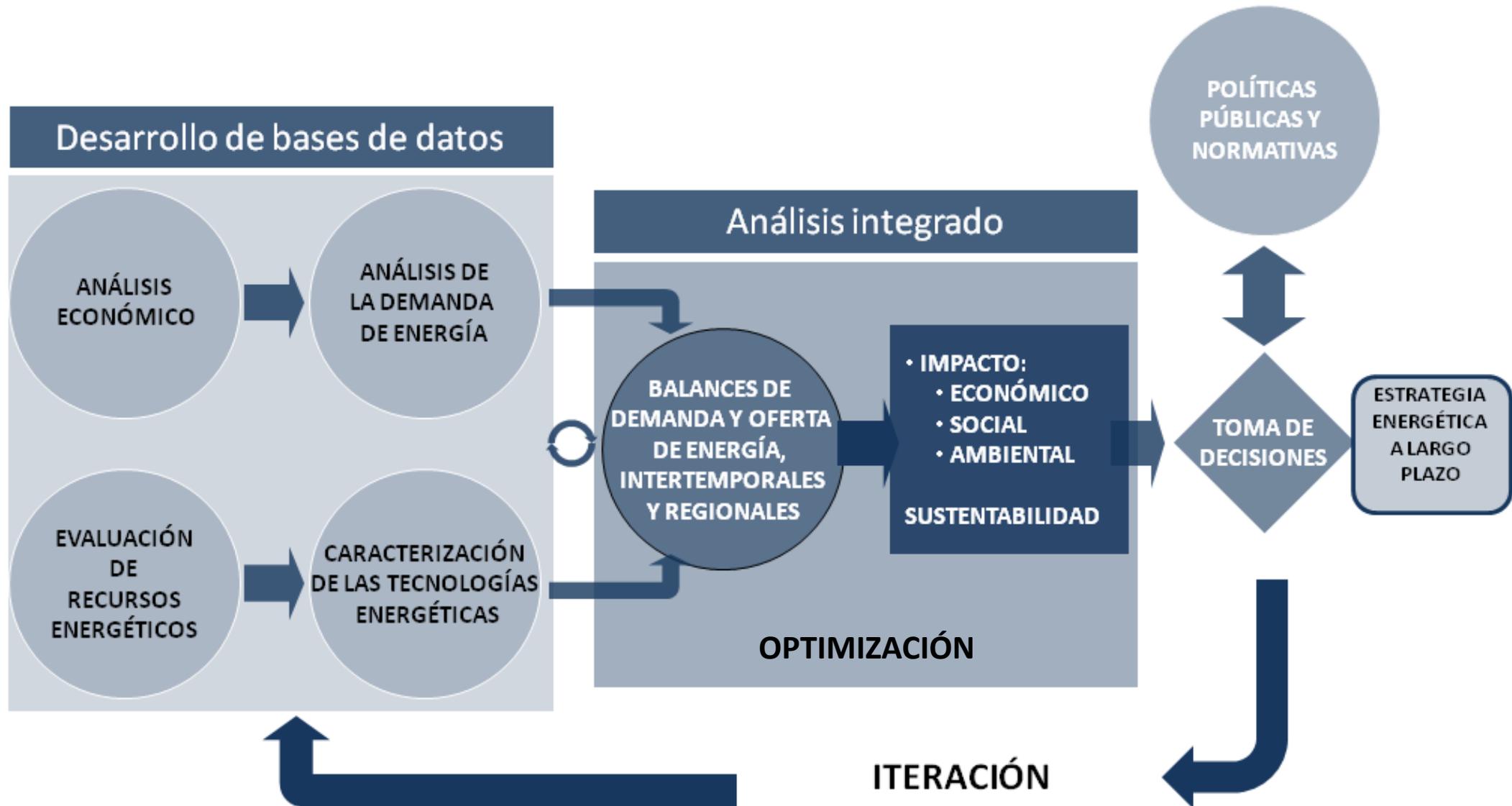
Ponencia en el X Seminario sobre la Situación y Perspectivas del Sector Eléctrico en México bajo el tema
Frente al futuro de las empresas eléctricas en el mundo: ¿Cuáles retos institucionales enfrentará la industria
de suministro eléctrico en México?

Instituto de Investigaciones Económicas de la UNAM.

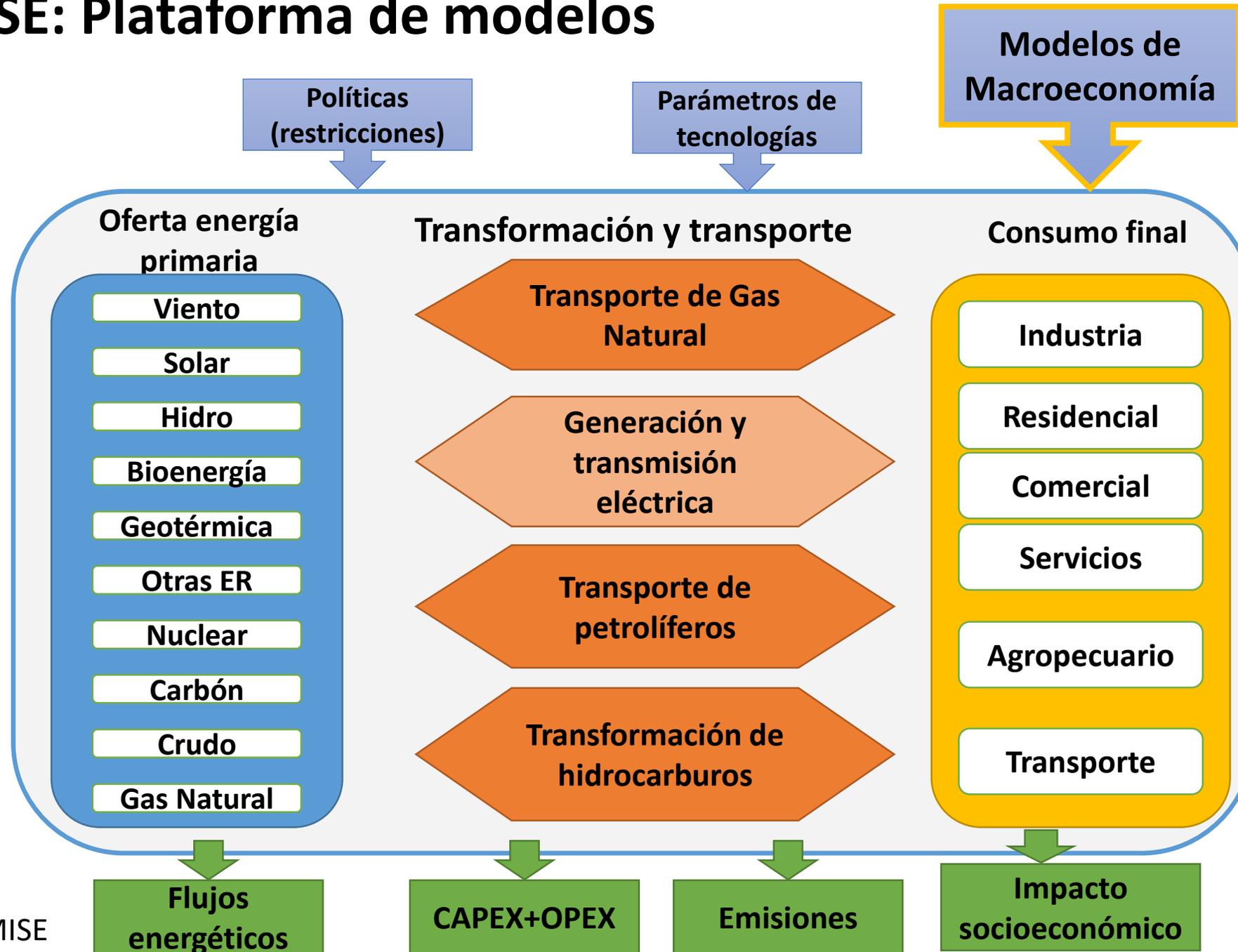
8 de marzo 2017.



Esquema funcional de SIMISE



SIMISE: Plataforma de modelos

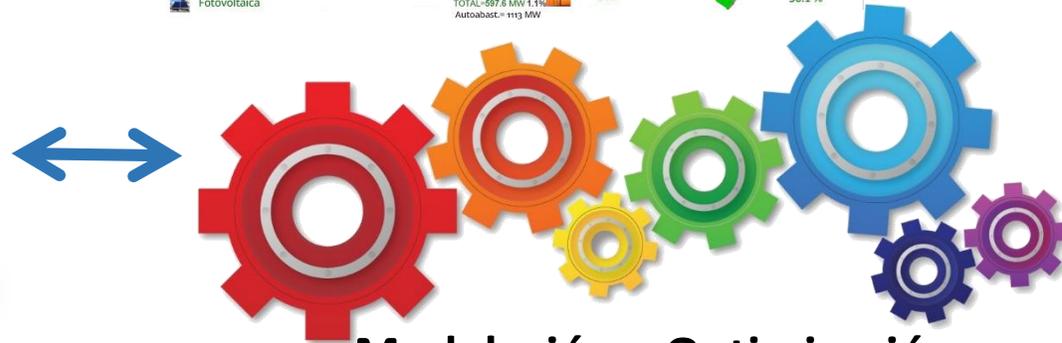


Manejo de Información en SIMISE

Bus de datos SENER

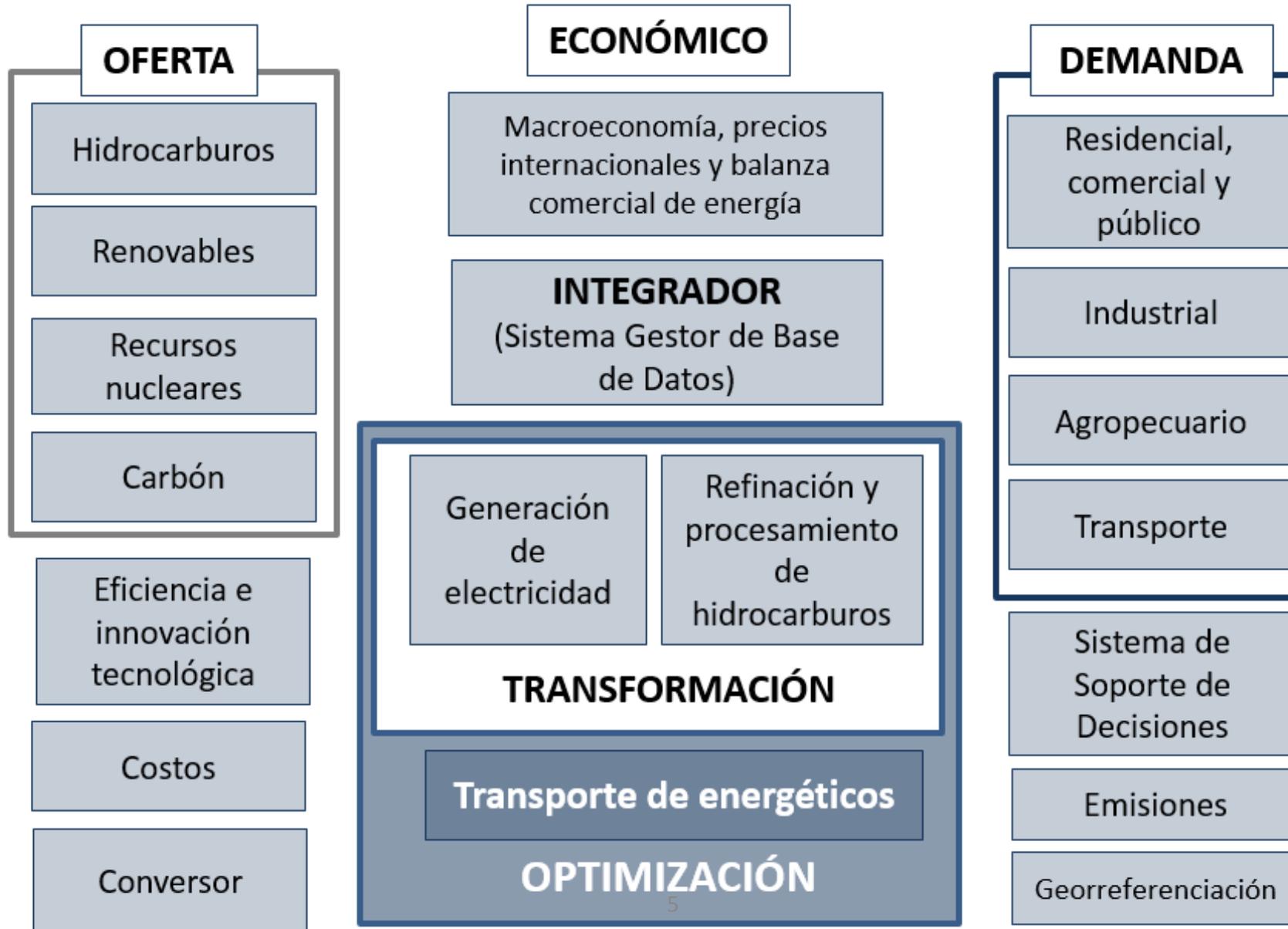


Organizaciones internacionales

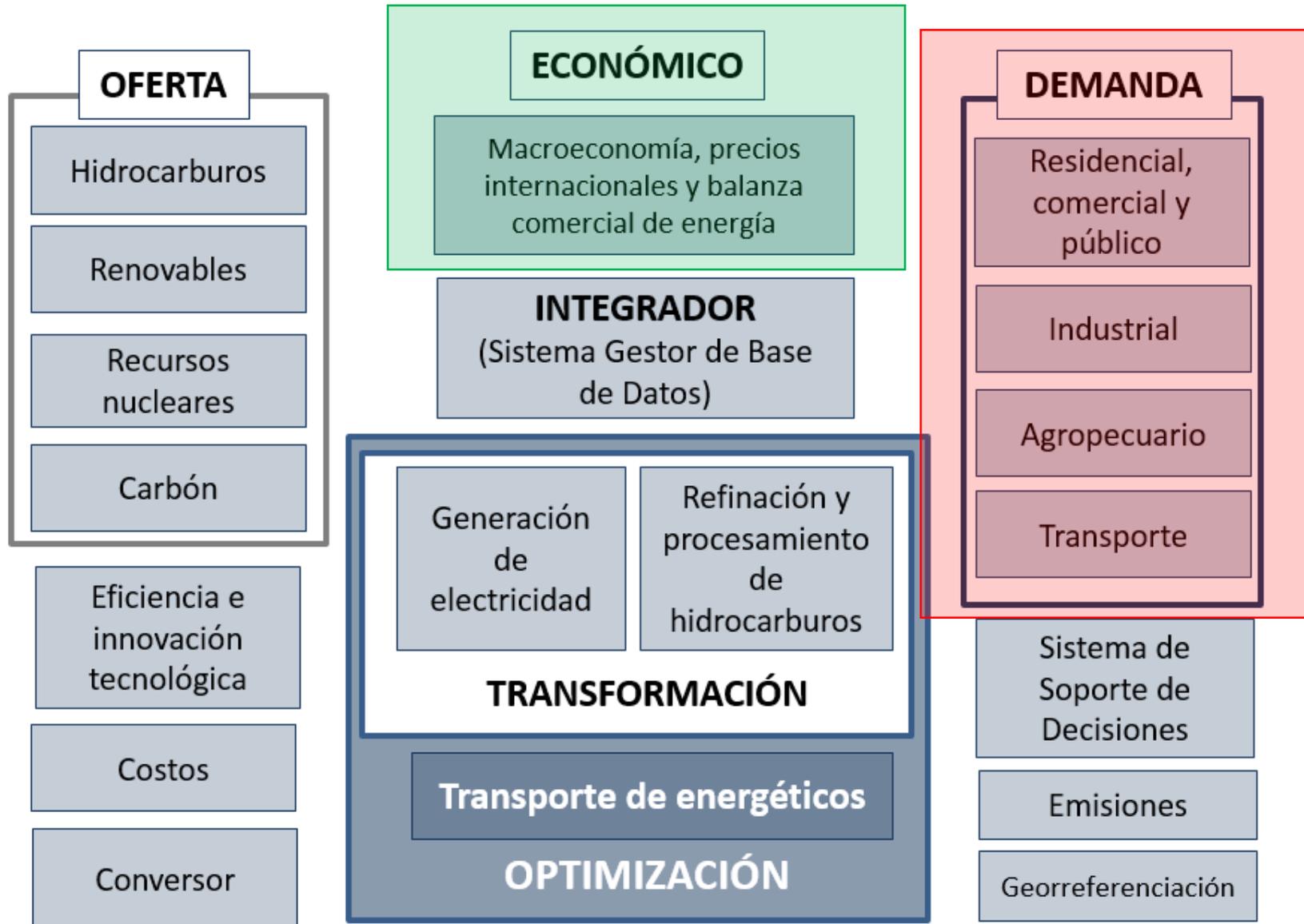


Modelación y Optimización

Estructura Modular de SIMISE



Macroeconomía y Demanda



Módulos Macroeconómico y Demanda (Consumo)*

- El objetivo principal es obtener proyecciones de largo plazo (2016-2050) de las principales variables económicas, así como de las variables de consumo de energía que aparecen en los Balances Nacionales de Energía.
- Ofrecer la oportunidad de generar ejercicios de simulación de posibles escenarios mediante el uso de modelos econométricos de series de tiempo.
- Se emplean modelos autorregresivos con rezagos distribuidos (ADL), permiten capturar todos los componentes de una serie de tiempo, y ofrecen la posibilidad de incorporar teoría económica en su estructura.
- Es posible re-expresar un modelo ADL en un modelo corrector por el error (ECM) cuando la serie a modelar presente evidencia de raíz unitaria.

* *Desarrollados en el IIEc por el Dr. Armando Sánchez*

Estrategia metodológica

- Para la selección apropiada de los rezagos se hicieron pruebas de Correlación Serial LR.
- Para que los resultados de las estimaciones fueran precisos se realizaron pruebas de correcta especificación de las ecuaciones.
- Se llevaron a cabo simulaciones dentro y fuera de la muestra con el propósito de evaluar la bondad del ajuste. Es necesario indicar que en el caso del modelo de consumo de energía se obtuvieron estimaciones con ajuste cero.
- Las estimaciones se procesaron mediante el software estadístico E-Views.



Macroeconomía (Modelo en EViews)

103

Ecuaciones

Equations: 103

IDENTIDAD DEL PIB (Demanda)

Eq1: $y = F(\text{conpr}, \text{gasgo}, \text{ipr}, \text{mcuna}, \text{vee}, \text{xcuna})$

Eq2: $y_{\text{nom}} = y * \text{defy}$

Eq3: $y_{\text{dis}} = y - t$

Eq4: $y_{\text{disnom}} = y_{\text{nom}} - t_{\text{n}}$

DEMANDA INTERNA

Eq5: $\text{conpr} = F(\text{conprnom}, \text{defcopr})$

Eq6: $\text{ipr} = F(\text{defipr}, \text{iprnom})$

Eq7: $\text{conto} = F(\text{congr}, \text{conpr})$

Eq8: $\text{ito} = F(\text{igo}, \text{ipr})$

IDENTIDAD DEL PIB (oferta)

Eq9: $y_{\text{of}} = y_{\text{p}} + y_{\text{s}} + y_{\text{t}}$

Eq10: $y_{\text{p}} = y_{\text{pnom}} / \text{defyp}$

Eq11: $y_{\text{s}} = y_{\text{snom}} / \text{defys}$

Eq12: $y_{\text{t}} = y_{\text{tnom}} / \text{deft}$

Eq13: $t = F(\text{deft}, \text{tnom})$

OFERTA Y DEMANDA AGREGADA

Eq14: $\text{ofeag} = y_{\text{p}} + y_{\text{s}} + y_{\text{t}}$

Eq15: $\text{demag} = F(\text{conpr}, \text{gasgo}, \text{ipr}, \text{vee}, \text{xcuna})$

POLITICA FISCAL

Eq16: $\text{balpr} = F(\text{gaspri}, \text{ingpre})$

Eq17: $\text{gasgo} = F(\text{congr}, \text{igo})$

Eq18: $\text{igo} = F(\text{defigo}, \text{igonom})$

Política monetaria

Eq19: $\text{bp} = F(\text{infob}, \text{inpc})$

Eq20: $\text{byy} = F(y, \text{ypo})$

BALANZA DE PAGOS

Balanza en cuenta corriente

Eq21: $\text{ingcuco} = F(\text{ingtr}, \text{xbisere})$

Eq22: $\text{xbisere} = F(\text{xme}, \text{xsefa}, \text{xsenofa})$

Eq23: $\text{xme} = F(\text{xnope}, \text{xpe})$

XNoPe = XMAN + ResX

Equations: 103

EXPORTACIONES E IMPORTACIONES

Eq28: $\text{xcuna} = F(\text{defx}, \text{tcn}, \text{xbisere})$

Eq29: $\text{mcuna} = F(\text{defm}, \text{mbisere}, \text{tcn})$

YDOnom = (YNom / TCN)

$y_{\text{dol}} = (y / \text{tcn})$

$y_{\text{us}} = y_{\text{usnom}} / \text{defyus}$

Eq30: $y_{\text{w}} = F(\text{defyw}, y_{\text{wnom}})$

Eq31: $e = F(\text{inpc}, \text{inpcus}, \text{tcn})$

Eq32: $\text{ppp} = F(\text{pp}, \text{tcn})$

Tasas de Interés

Eq33: $\text{ffre} = F(\text{ffrer}, \text{pius})$

Eq34: $\text{ffror} = F(\text{ffro}, \text{pius})$

Eq35: $\text{pius} = F(\text{inpcus})$

Eq36: $\text{lnbyus} = F(y_{\text{pous}}, y_{\text{us}})$

Eq37: $\text{bpus} = F(\text{inpcus}, \text{pie})$

Eq38: $\text{ysme} = F(\text{defme}, \text{ysmenom})$

Oferta

Eq39: $\text{wmn} = F(\text{inpc}, \text{wm})$

Balanza de pagos

:M_DEF

Eq40: $\text{defm} = F(\text{d01i}, \text{d02i}, \text{d10iv}, \text{d12iv}, \text{d13iv}, \text{d96i}, \text{c})$

Eq41: $\text{egrtr} = F(\text{d04iv}, \text{d06iii}, \text{d07iii}, \text{d07iv}, \text{d08iv}, \text{d09i})$

Eq42: $\text{mbisere} = F(\text{d00i}, \text{d00iii}, \text{d01ii}, \text{d08iv}, \text{d09i}, \text{d09i})$

Eq43: $\text{resx} = F(\text{d08iv}, \text{d0911}, \text{d09i}, \text{d10iii}, \text{d1213}, \text{resx})$

Eq44: $\text{xman} = F(\text{d04iv}, \text{d13iii}, \text{d14ii}, \text{d14iii}, \text{d14iv}, \text{mbi})$

Eq45: $\text{xpe} = F(\text{d03iii}, \text{d1011}, \text{d95iv}, \text{d98i}, \text{pp}, \text{xpe}, \text{ynoi})$

Eq46: $\text{xsenofa} = F(\text{d00iii}, \text{d00iv}, \text{d06iv}, \text{d07iv}, \text{d09ii}, \text{d09ii})$

Eq47: $\text{xsefa} = F(\text{d04ii}, \text{d04iii}, \text{d09iii}, \text{d10i}, \text{d10ii}, \text{d10iv})$

Eq48: $\text{remto}, \text{ottr} = F(\text{d03i}, \text{d05iv}, \text{d09i}, \text{d09iv}, \text{d10i}, \text{d10i})$

Eq50: $\text{otri}, \text{ica}, \text{varreint} = F(\text{d00ii}, \text{d01iii}, \text{d04i}, \text{d05iv}, \text{d05iv})$

Política fiscal

Eq53: $\text{gaspri} = F(\text{d00ii}, \text{d01iv}, \text{d02ii}, \text{d05iii}, \text{d06ii}, \text{d07ii})$

Eq54: $\text{ingpre} = F(\text{d00iv}, \text{d01iv}, \text{d02iv}, \text{d03i}, \text{d03iv}, \text{d04i})$

Política monetaria

Fuente: SIMISE

Consumo (Modelo en EViews)

700 Ecuaciones

```
EViews - [Model: MODEL_NUEVO  Workfile: DEMANDA_SIMISE::escenario\]
File Edit Object View Proc Quick Options Window Help
View Proc Object Print Name Freeze Solve Scenarios Equations Variables Text
Equations: 700
Baseline ^

DEMANDA DE ENERGÍA

IDENTIDADES SECTOR RESIDENCIAL
"conreep = conrec + " Eq1: conreep = F( conreb, conrebio, conrec, conrecond, conreoo, conregeo, conregn, conreh, conrel, conren, conrep, conres )
"conrees = conrecc + " Eq2: conrees = F( conrecc, conreco, conrecp, conred, conree, conreg, conreglp, conregs, conrene, conreoa, conreq )
"conreto = conreep + " Eq3: conreto = F( conreep, conrees )

IDENTIDADES SECTOR COMERCIAL
"concoep = concoc + " Eq4: concoep = F( concob, concobio, concoc, concocond, concoeo, concogeo, concogn, concoh, concol, concon, concop, concos )
"concoes = concocc + " Eq5: concoes = F( concocc, concoco, concocp, concod, concoe, concog, concoglp, concogs, concone, concooa, concoq )
"concoto = concoep + " Eq6: concoto = F( concoep, concoes )

IDENTIDADES SECTOR PÚBLICO
"conpuep = conpuc + " Eq7: conpuep = F( conpub, conpubio, conpuc, conpucond, conpueo, conpugeo, conpugn, conpuh, conpul, conpun, conpup, conpus )
"conpues = conpucc + " Eq8: conpues = F( conpucc, conpuco, conpuccp, conpuod, conpue, conpug, conpuglp, conpugs, conpune, conpuoa, conpuq )
"conputo = conpuep + " Eq9: conputo = F( conpuep, conpues )

IDENTIDADES SECTOR RESIDENCIAL, COMERCIAL Y PÚBLICO
ENERGÍA PRIMARIA POR ENERGÉTICO
"conrecopuc = conrec " Eq10: conrecopuc = F( concoc, conpuc, conrec )
"conrecopup = conrep " Eq11: conrecopup = F( concop, conpup, conrep )
"conrecopucond = conr " Eq12: conrecopucond = F( concocond, conpucond, conrecond )
"conrecopugn = conreg " Eq13: conrecopugn = F( concogn, conpugn, conregn )
"conrecopun = conren " Eq14: conrecopun = F( concon, conpun, conren )
"conrecopuh = conreh " Eq15: conrecopuh = F( concoh, conpuh, conreh )
"conrecopugeo = conre " Eq16: conrecopugeo = F( concogeo, conpugeo, conregeo )
"conrecopus = conres " Eq17: conrecopus = F( concos, conpus, conres )
"conrecopueo = conree " Eq18: conrecopueo = F( concoeo, conpueo, conreeo )
"conrecopub = conreb " Eq19: conrecopub = F( concob, conpub, conreb )
"conrecopul = conrel " Eq20: conrecopul = F( concol, conpul, conrel )
"conrecopubio = conre " Eq21: conrecopubio = F( concobio, conpubio, conrebio )
ENERGÍA PRIMARIA TOTAL
"conrecopuep = conrec " Eq22: conrecopuep = F( conrecopub, conrecopubio, conrecopuc, conrecopucond, conrecopueo, conrecopugeo, conrecopugn, conrecopuh, conrecopul, conrecopun, conrecopup, conrecopus )
ENERGÍA SECUNDARIA POR ENERGÉTICO
"conrecopucc = conrec " Eq23: conrecopucc = F( concocc, conpucc, conrecc )
"conrecopucp = conrec " Eq24: conrecopucp = F( concocp, conpuccp, conreccp )
"conrecopuglp = conre " Eq25: conrecopuglp = F( concoglp, conpuglp, conreglp )
"conrecopug = conreg " Eq26: conrecopug = F( concog, conpug, conreg )
"conrecopuq = conreq " Eq27: conrecopuq = F( concoq, conpuq, conreq )
"conreconud = conred " Eq28: conreconud = F( concod, conpuod, conred )
```



Metodología

Módulo Macroeconómico

Supuestos

Variables disponibles

- Producto Interno Bruto
- Oferta total (AGREGADA)
- Consumo total
- Consumo Privado
- Consumo Público
- Deflactor implícito del PIB
- Deflactor consumo Privado
- Deflactor consumo Público
- Deflactor PIB primario
- Deflactor PIB secundario

>>

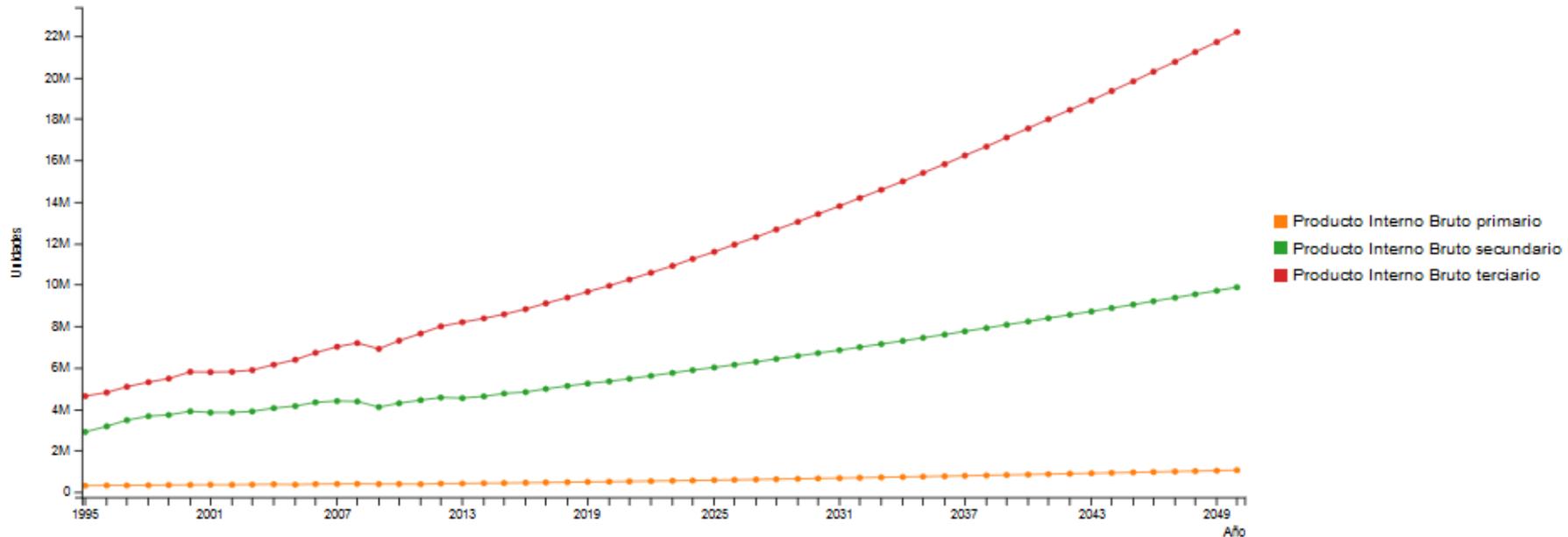
<<

Crea excel

Variables seleccionadas

- Producto Interno Bruto primario
- Producto Interno Bruto secundario
- Producto Interno Bruto terciario

Descargar datos completos





Metodología

Módulo de Demanda

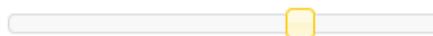
Supuestos

Sector seleccionado

- Consumo final total
- Consumo final no energético

Crecimiento permanente del PIB:

4%



PIBs fijos

PIB del 2.5%

Guardar

Quitar

Crea excel

Energéticos disponibles

Eólica
Energía primaria
Energía secundaria
Gasolinas y naftas
Geoenergía
Gas licuado

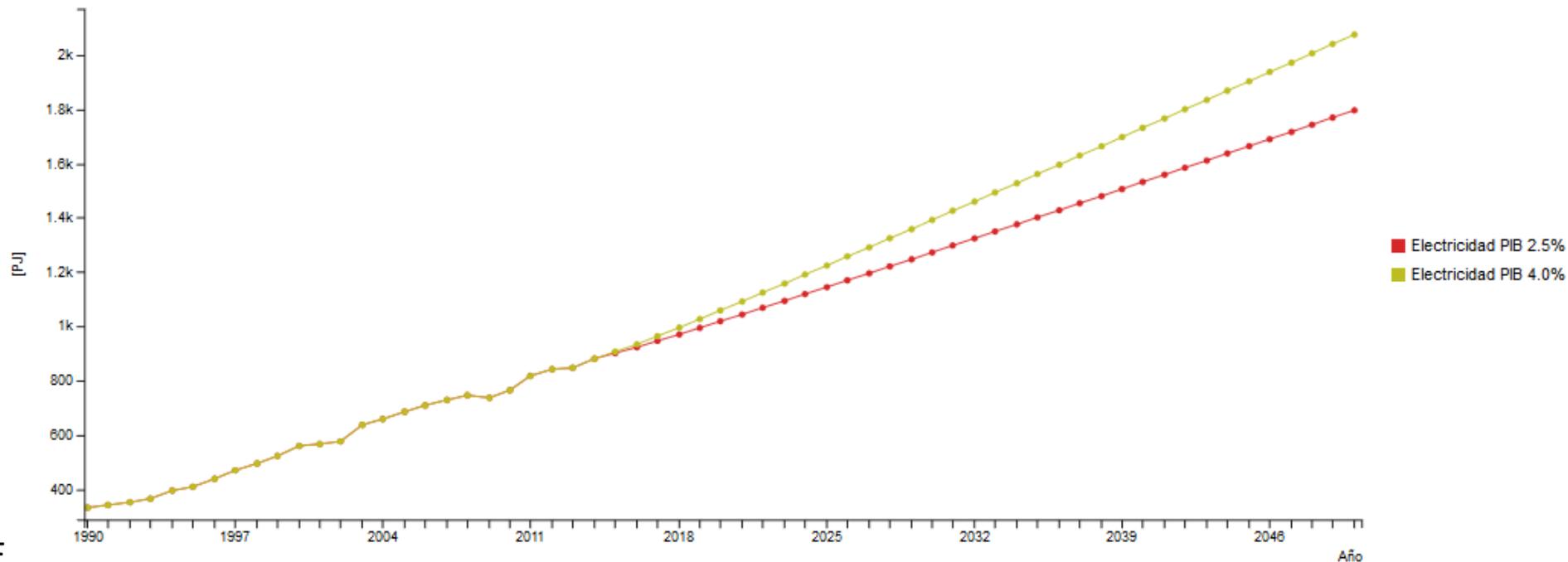
>>

<<

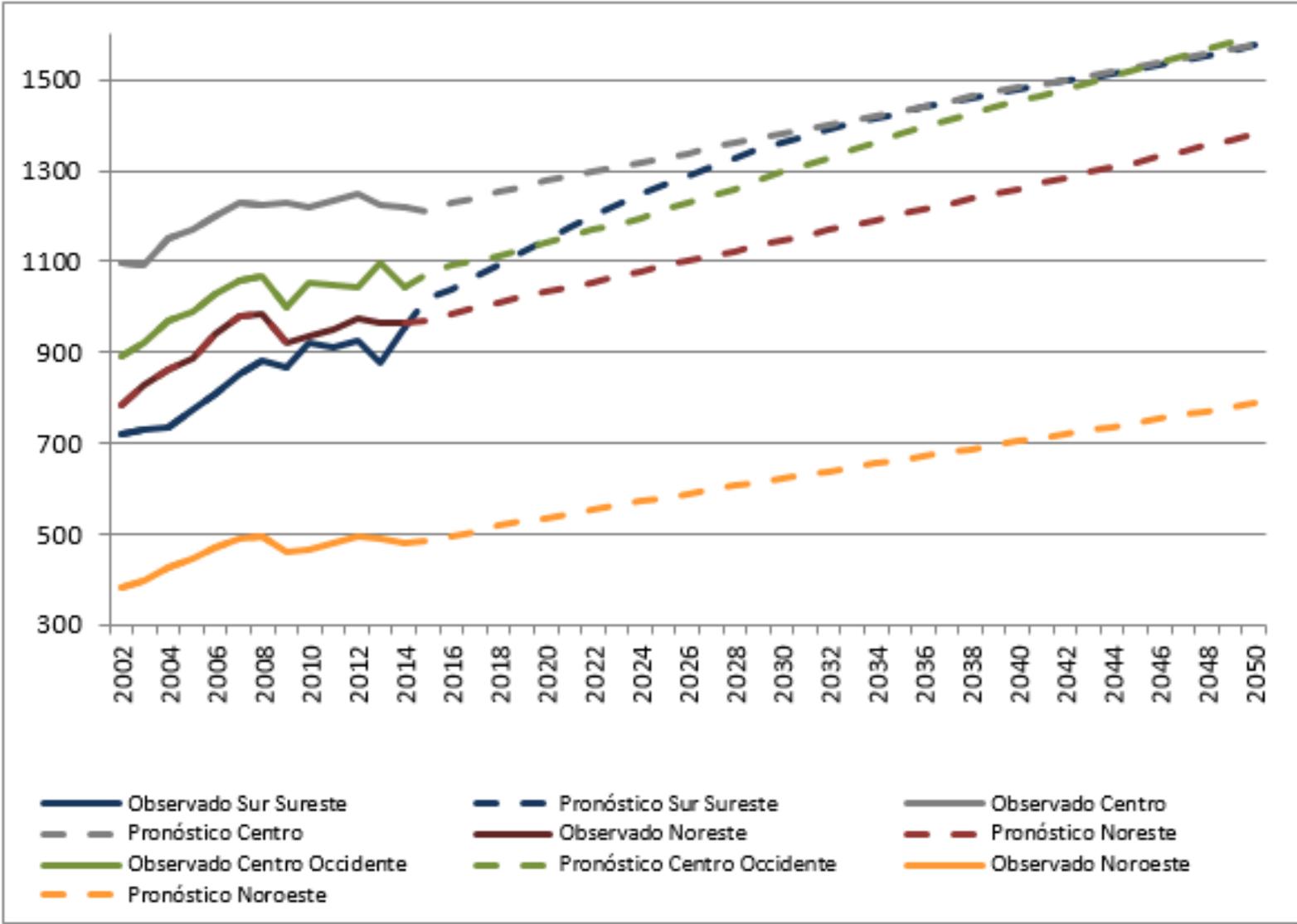
Energéticos seleccionados

Electricidad

Descargar datos completos



Histórico y pronósticos del Consumo Total de Energía por región en 2015-2050 (cifras expresadas en PJ)

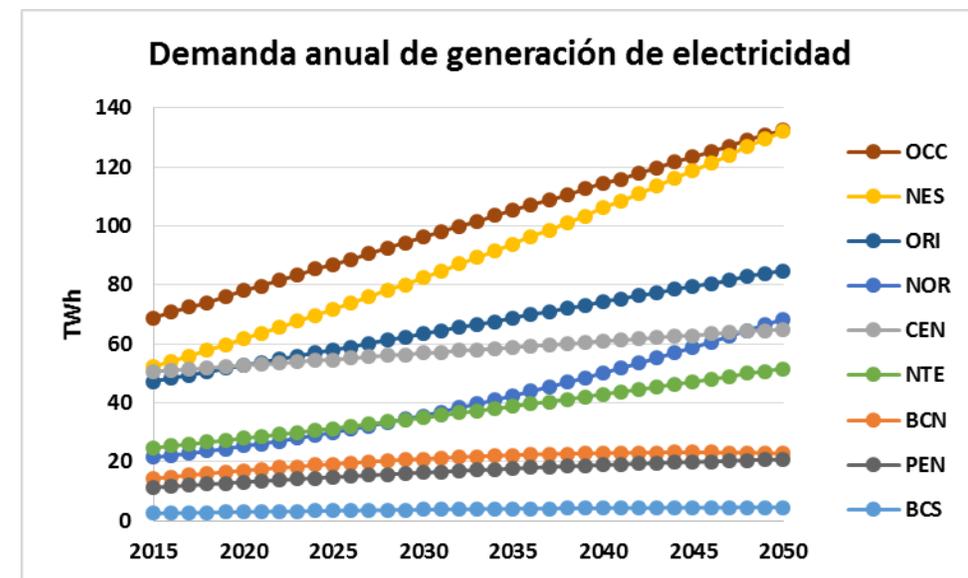
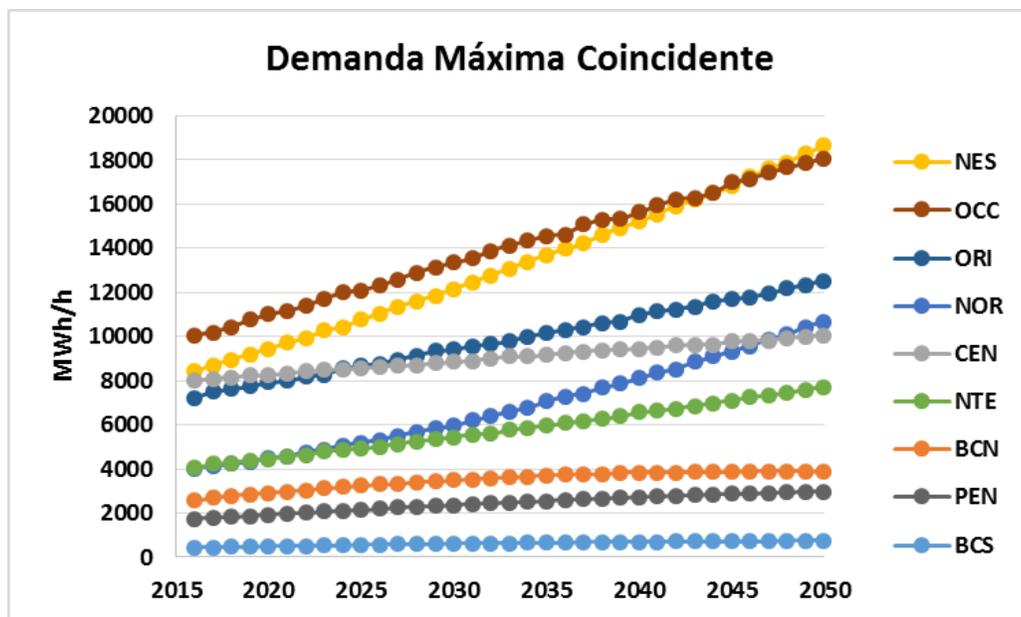
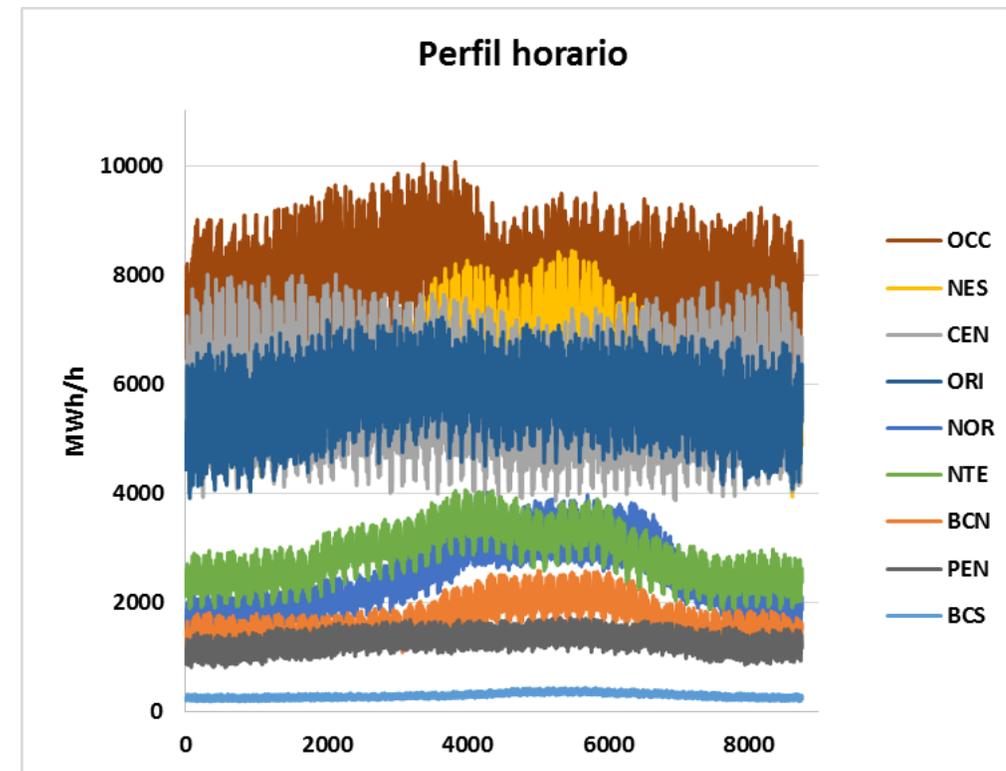


Fuente: SIMISE

Demanda de Electricidad

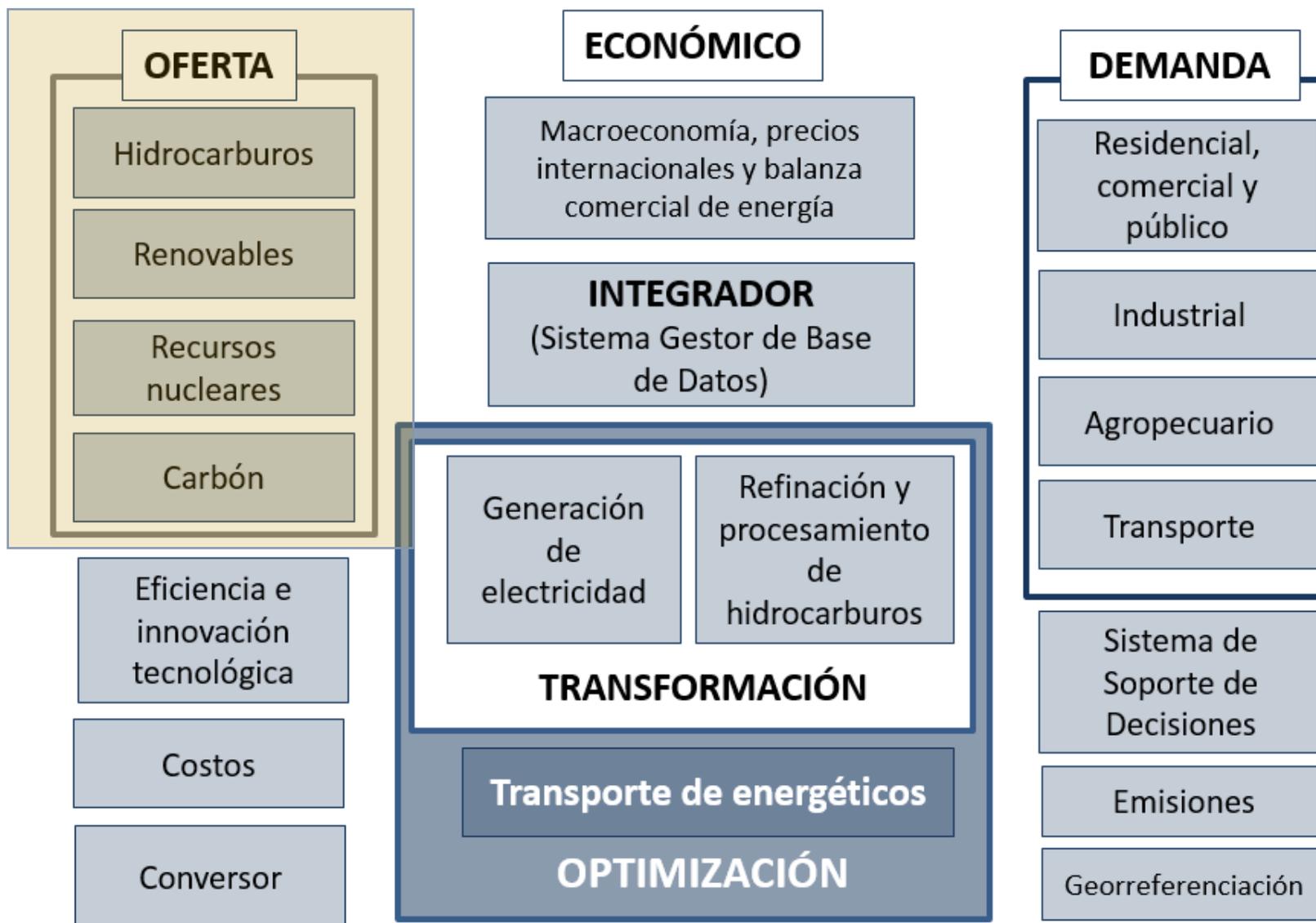
Carga Horaria, Carga Máxima y Energía Anual

- Revisión y procesamiento de datos de carga eléctrica horaria e incorporación a un modelo de series de tiempo.
- Descomposición de cada una de las componentes de la serie e identificación de su comportamiento estadístico.
- Cuando éstas son separadas y procesadas de manera independiente, se genera una proyección a priori de cada una de ellas, la cual es calibrada con el comportamiento de los valores históricos.
- Se realiza una correlación entre la tendencia general de los datos y las fluctuaciones de cada variable exógena, ej. PIB, que impacte de forma proporcional a la tendencia general de la carga proyectada.



Fuente SIMISE.

Módulos de Oferta



Módulo de Oferta de Hidrocarburos

Objetivo: Organizar y gestionar la información de las bases de datos disponibles y producir modelos matemáticos con la finalidad de generar escenarios de la producción de hidrocarburos (Crudo y Gas Natural).



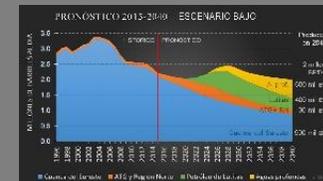
Manejo de la base de datos

Análisis estadístico y desarrollo de modelos



Proyecciones y manejo de variables exógenas

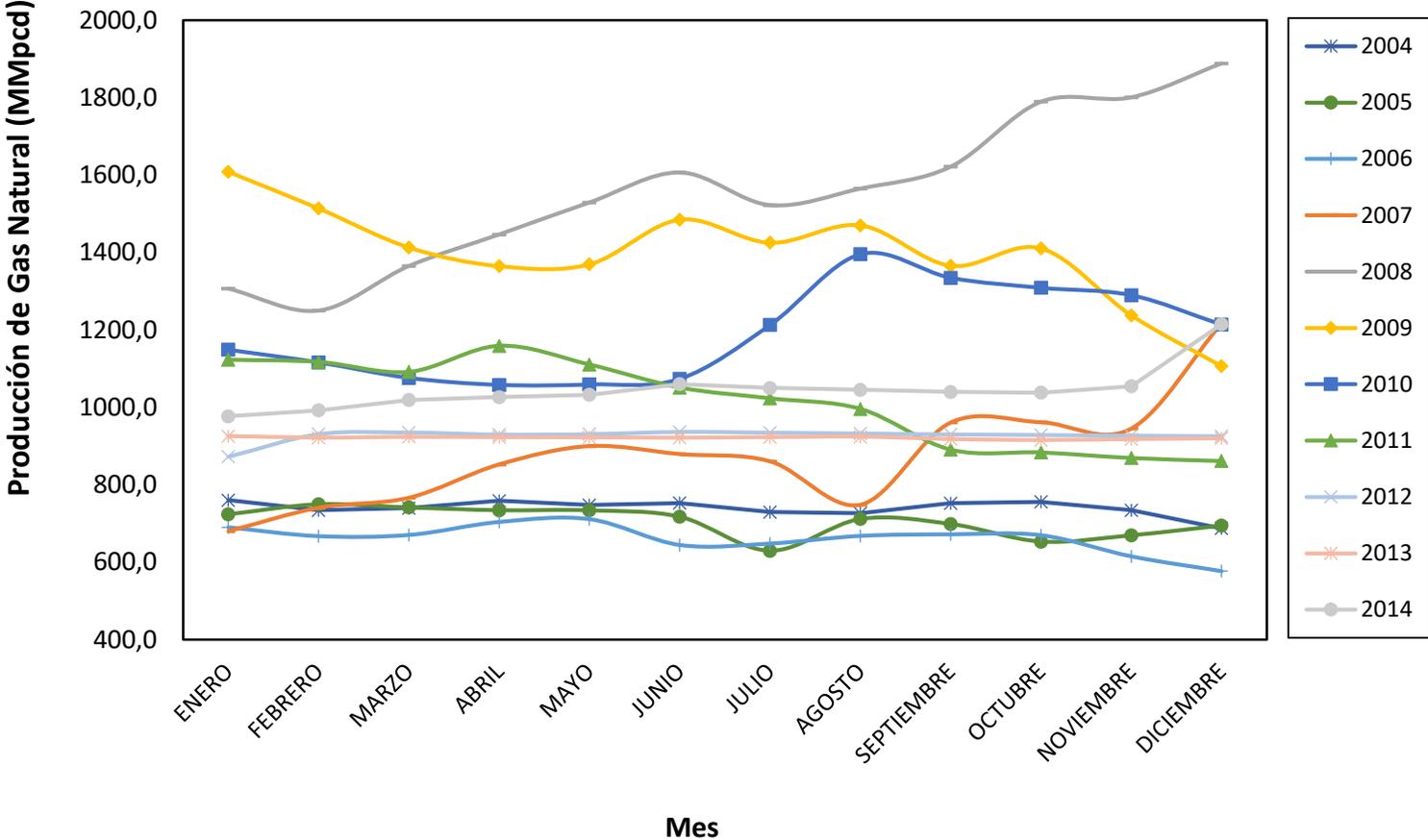
Generación de escenarios de producción



Manejo de la base de datos



Producción Promedio Mensual de Gas Natural
"Campo Akal"



Fuente: Base de datos SIMISE.

Análisis estadístico

Consiste en analizar a detalle el comportamiento de las series históricas y sus componentes estadísticas, tendencia y existencia de ciclos estacionales para generar modelos preliminares que se correlacionarán con las variables exógenas.

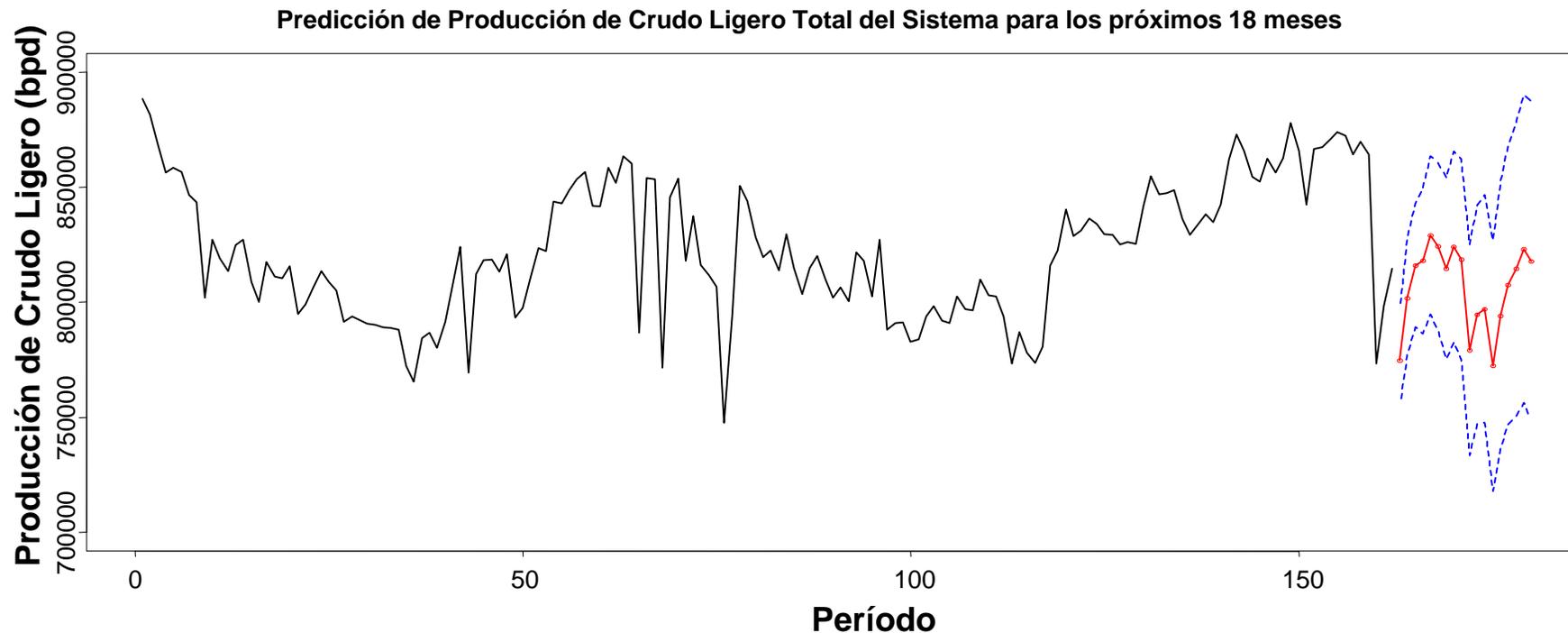


Diagrama del procesamiento estadístico.

Proyecciones y manejo de variables exógenas

- Es un proceso de correlación de los modelos obtenidos en la etapa anterior, con el propósito de sujetar las proyecciones obtenidas a fenómenos de mercado y de ambientes internacionales.
- Se propone incluir la variabilidad que se espera por la puesta en marcha de la reforma energética.

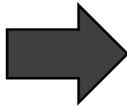
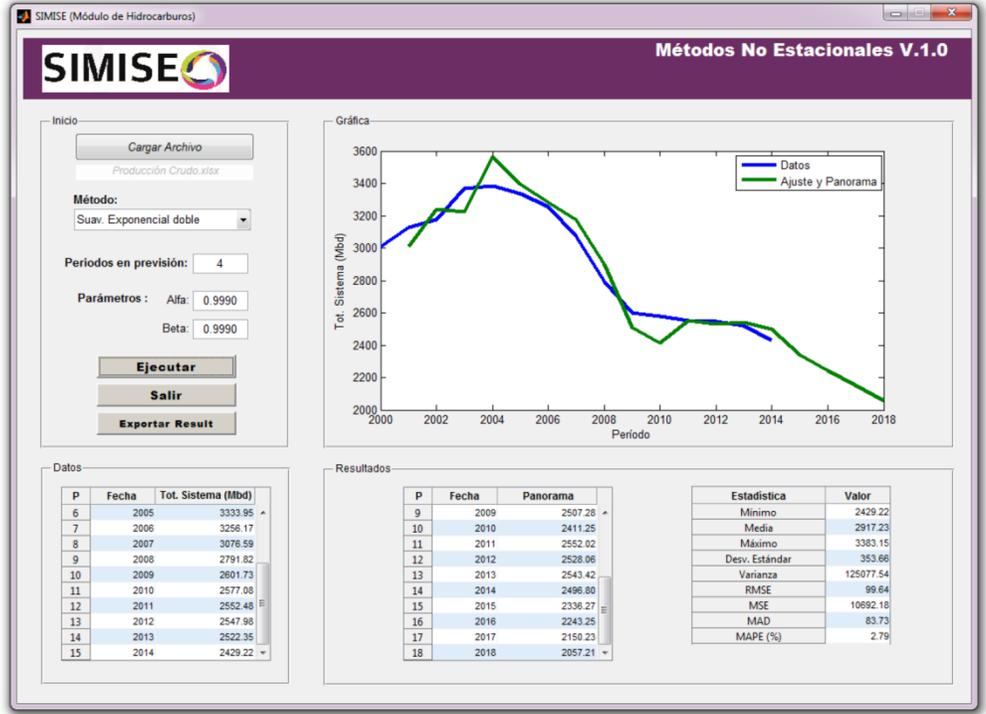
Pronóstico (Julio 2015 – Diciembre 2016) para Producción de Crudo Ligero Total del Sistema (Enero 2002 – Junio 2015)



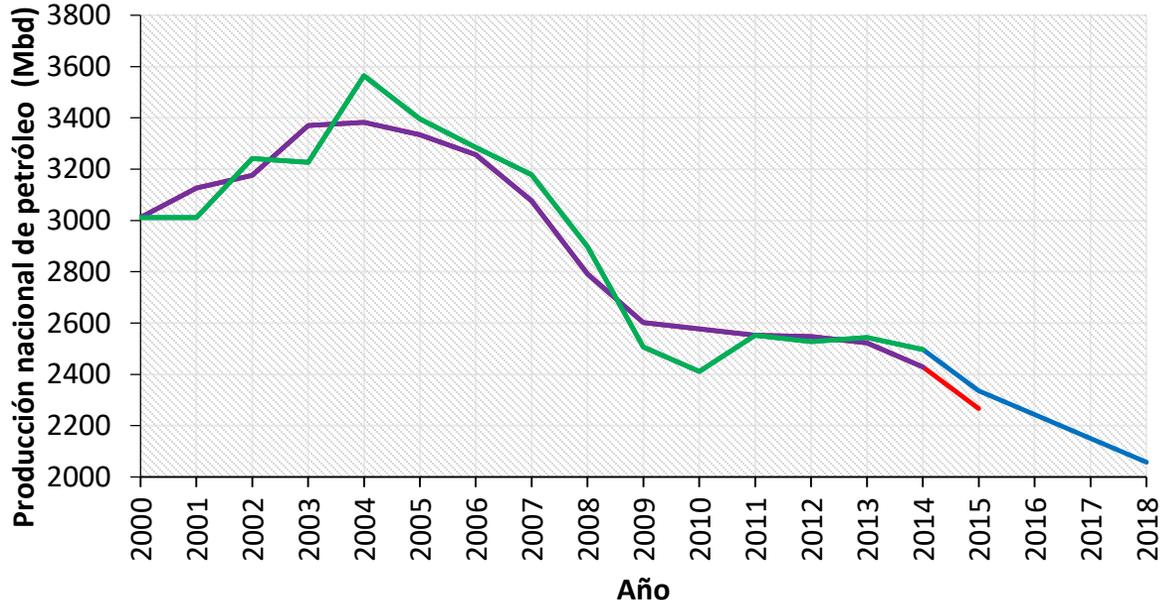
Fuente: Pronóstico preliminar de SIMISE

Generación de escenarios

- Los escenarios serán elegidos con los parámetros de mayor peso obtenidos en la etapa precedente y se ajustarán de acuerdo con los hechos de ocurrencia de mayor probabilidad y menos incertidumbre para generar proyecciones de largo plazo.

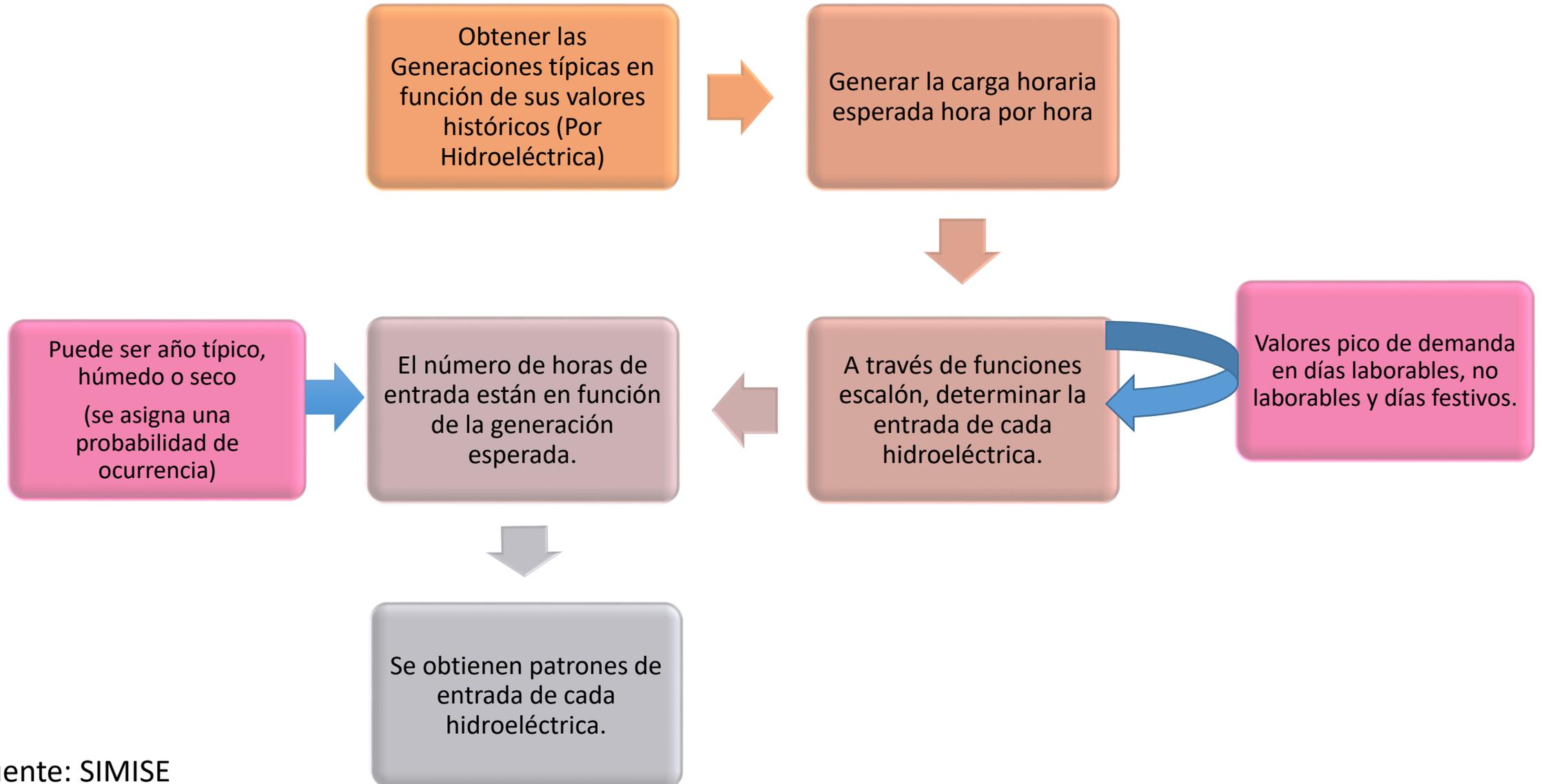


Comparación del escenario correspondiente a la producción nacional de crudo en México

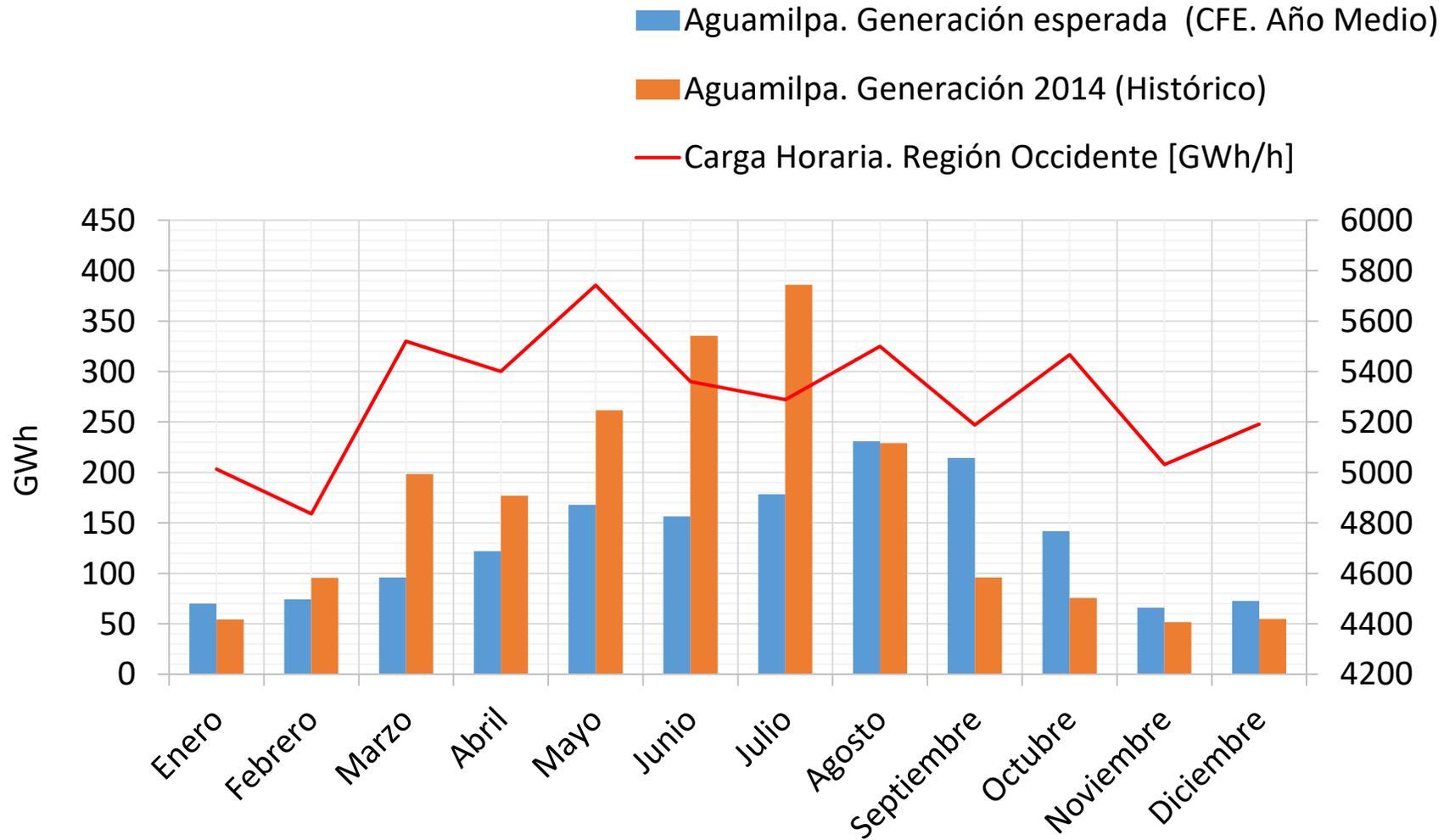


- Producción promedio del 2015 (Fuente SIE)
- Serie de tiempo original
- Proyección (Aplicación de hidrocarburos de SIMISE)
- Ajuste de la Serie de tiempo original

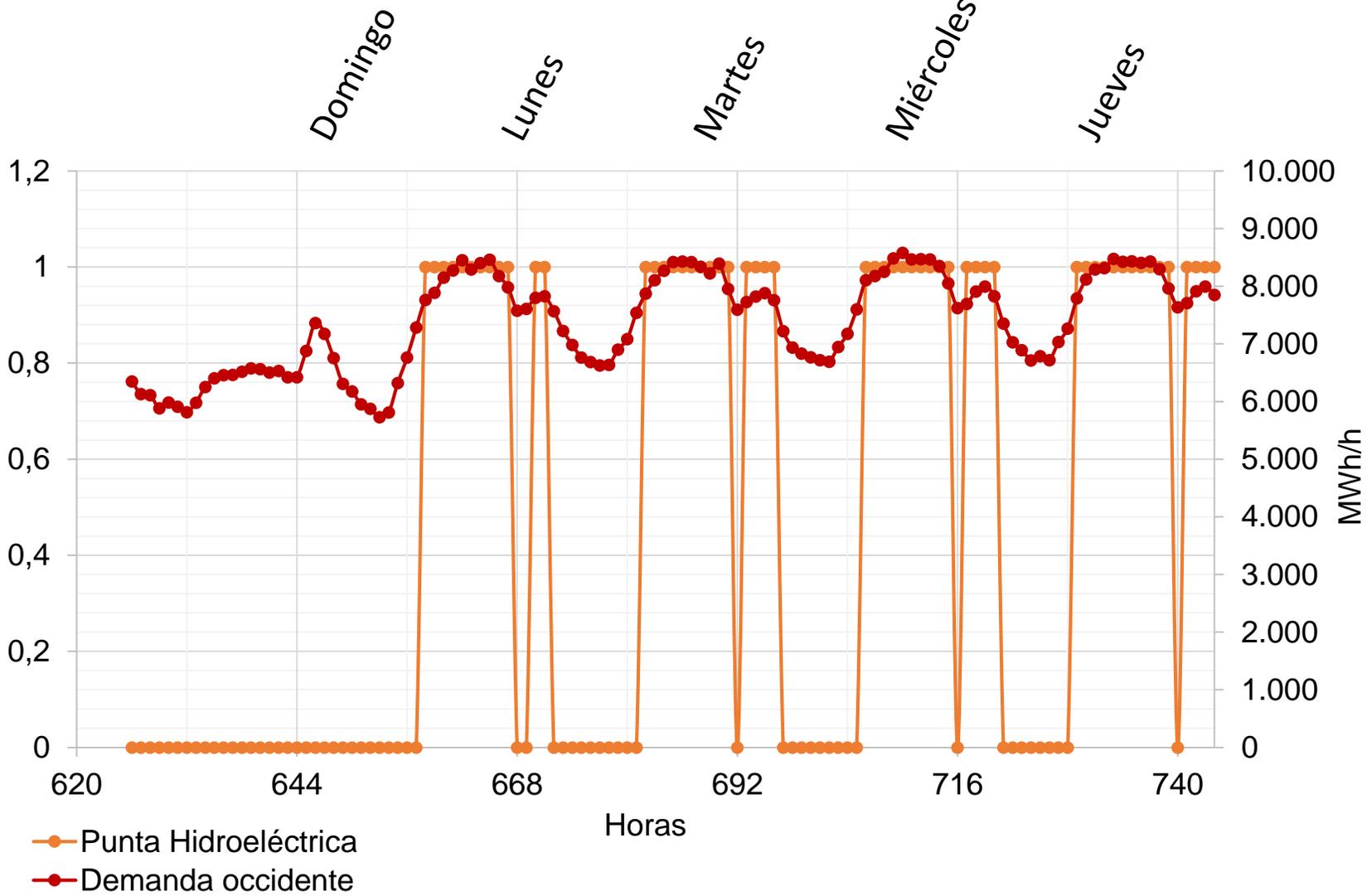
Metodología SIMISE de despacho hidroeléctrico anual



Demanda de carga mensual 2014

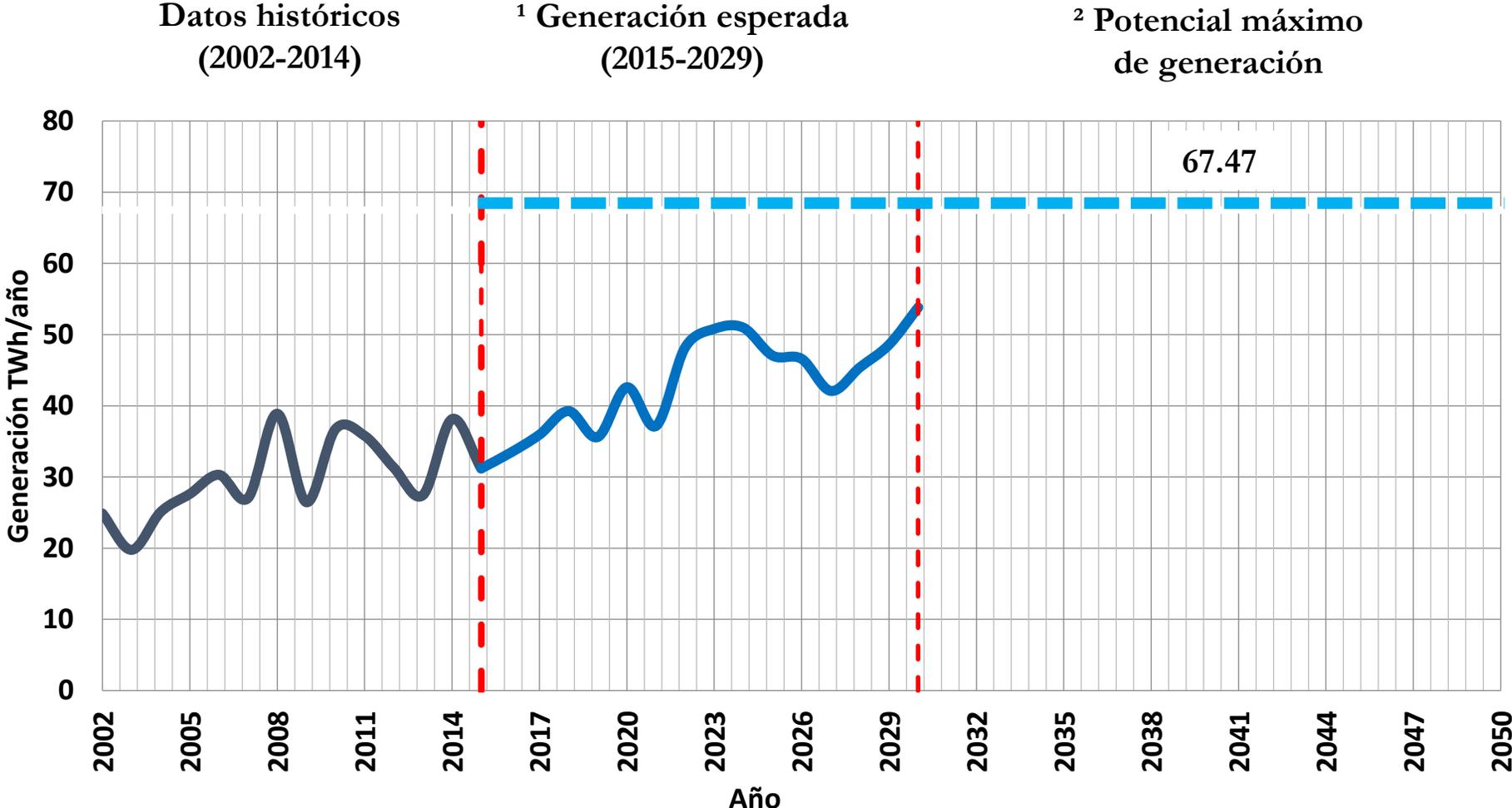


Días Laborables con mayor demanda (Julio, última semana)



Fuente: SIMISE

Generación hidroeléctrica

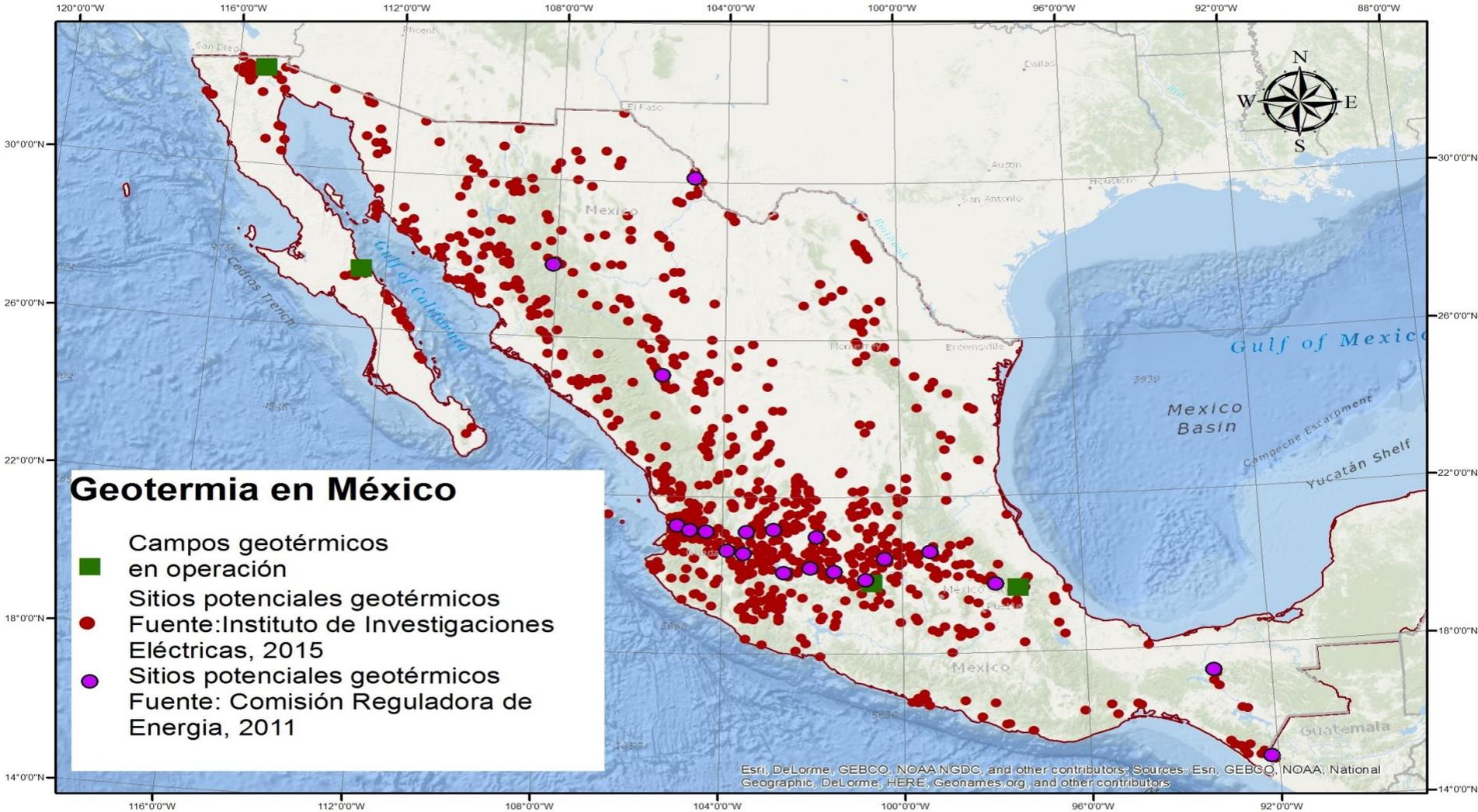


¹ Calculada con SIMISE tomando en cuenta el plan de adiciones PRODESEN.

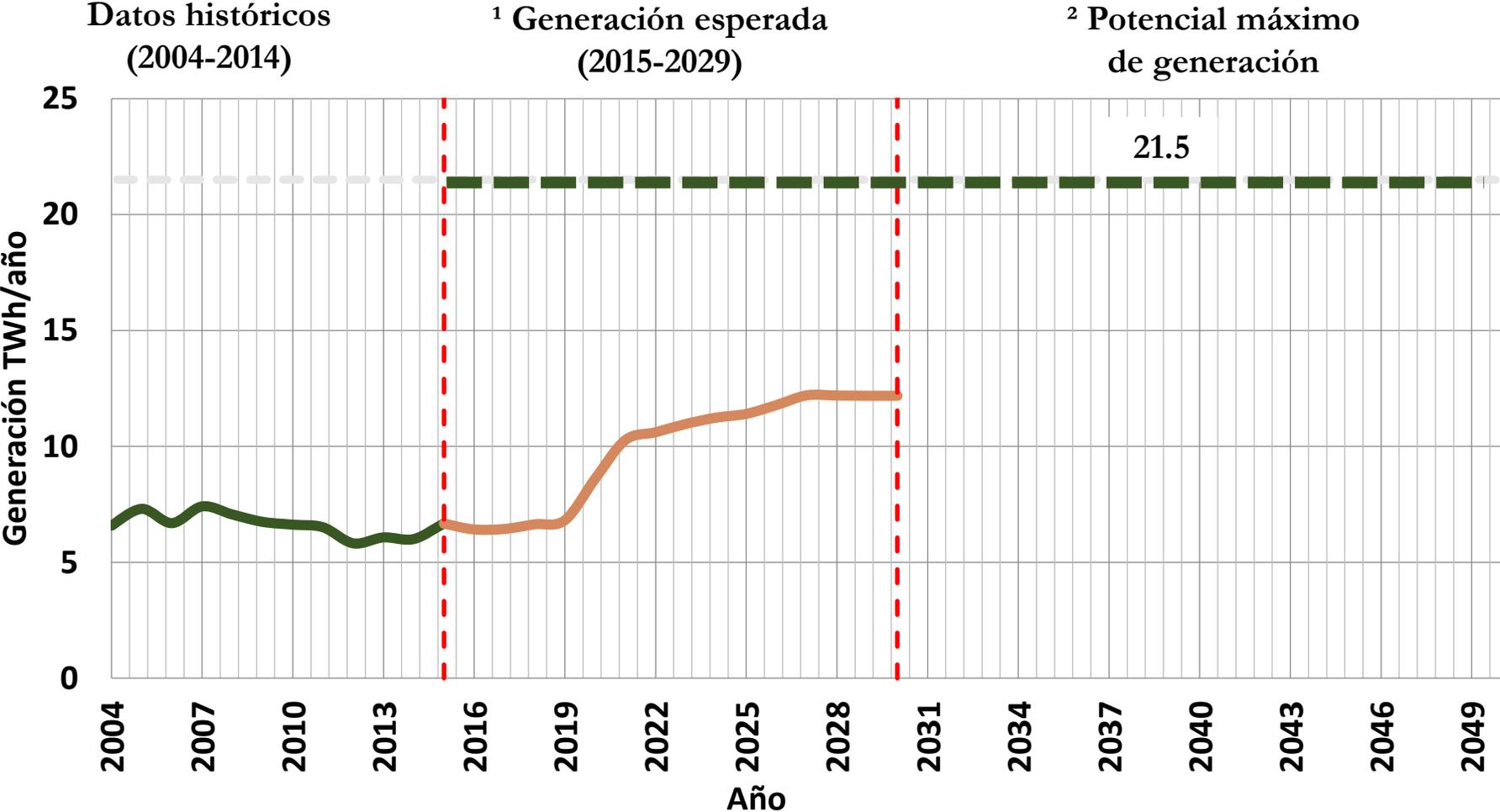
² Calculada con SIMISE.

Se usan resultados del Módulo de Oferta de SIMISE para el potencial de hidroeléctricas. En la Prospectiva el Potencial Probable es 66.31 TWh/año

Generación geotérmica



Generación geotérmica

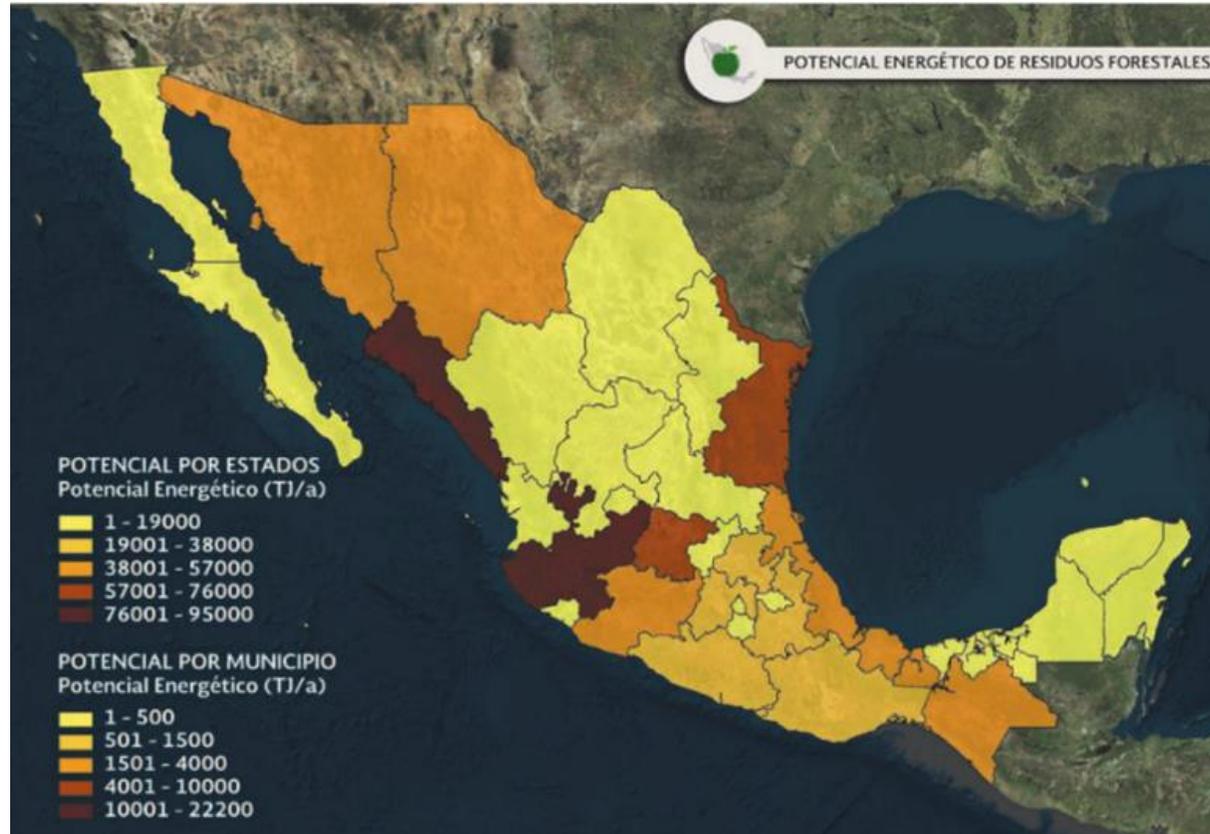


¹ Calculada con SIMISE tomando en cuenta el plan de adiciones PRODESEN.

² Calculada con SIMISE.

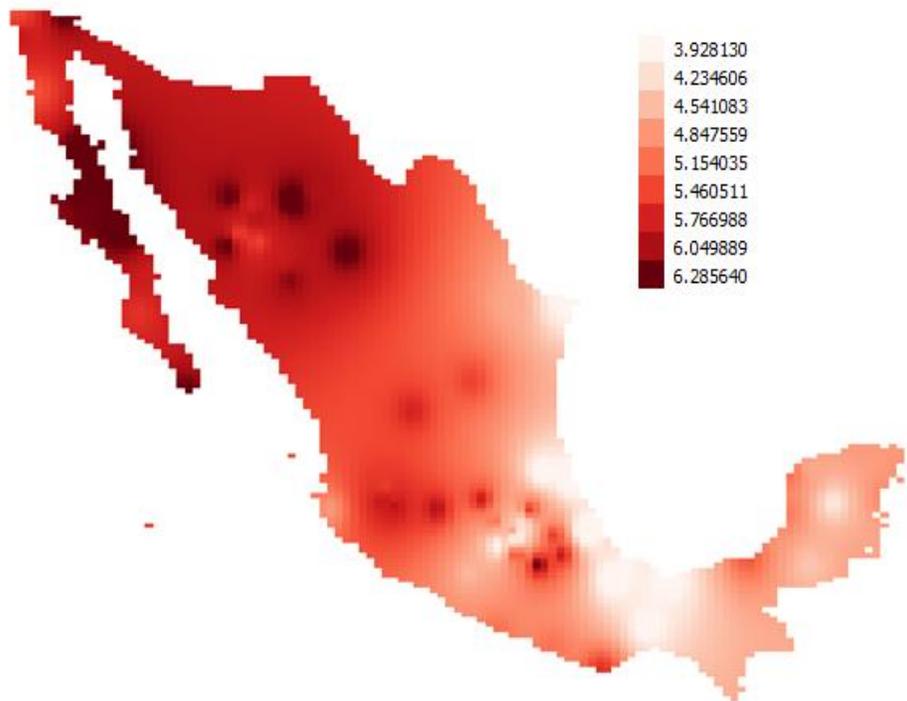
Se usan resultados del Módulo de Oferta de SIMISE para el potencial de geotermia. En la Prospectiva de Renovables el potencial posible es 53.139 TWh/año.

Potencial energético de residuos forestales

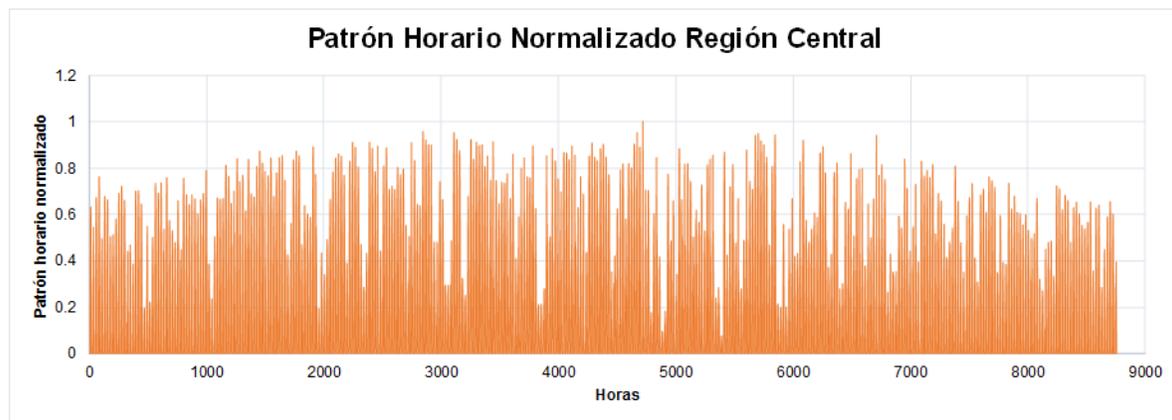


Residuos forestales incluyendo los residuos de cosecha de los principales cultivos en México.

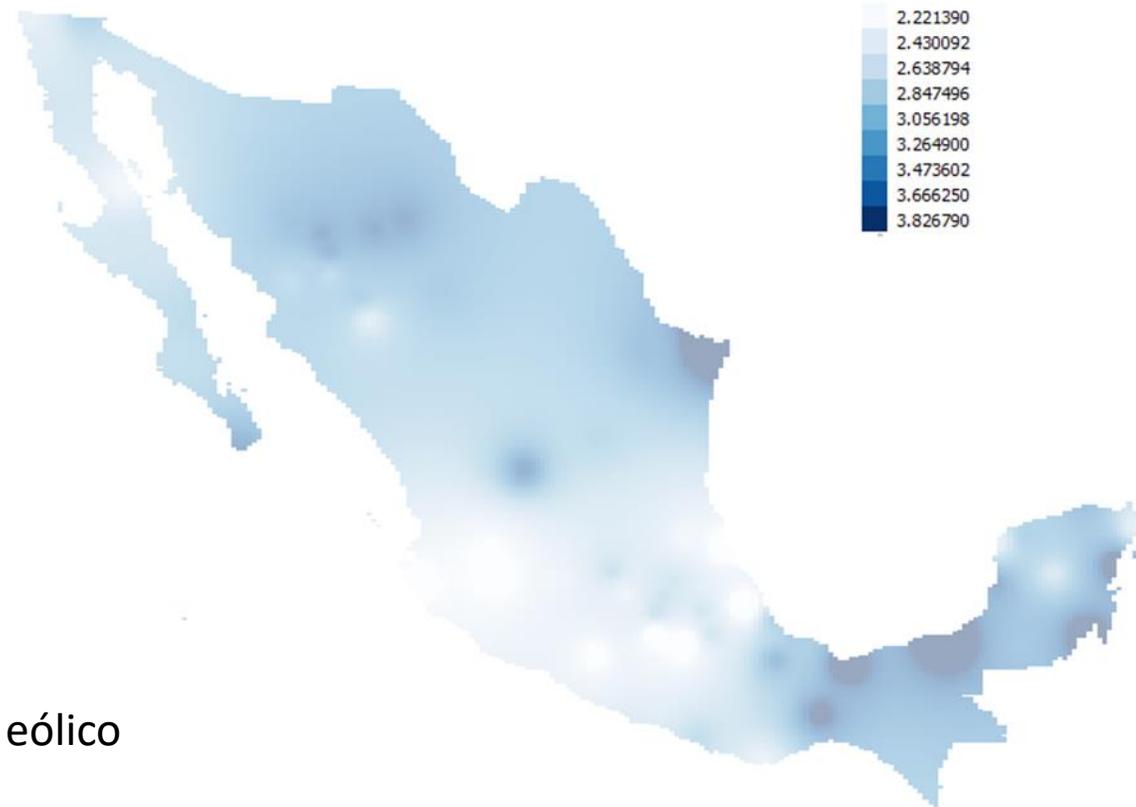
Mapa de Irradiación Global (kWh/m2/día)



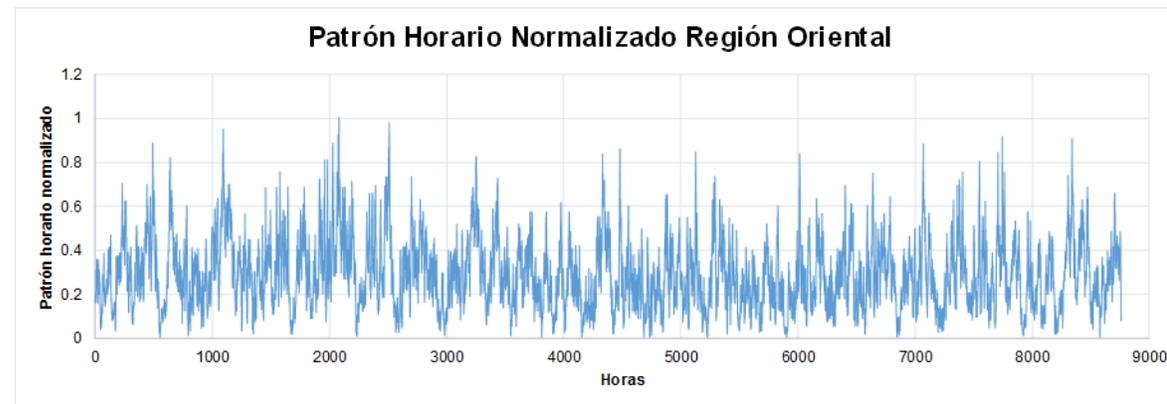
Perfil solar



Mapa de velocidad de viento (M/s)



Perfil eólico





Sistema de Soporte de Decisiones

Oferta Renovable

Renovable y Demanda

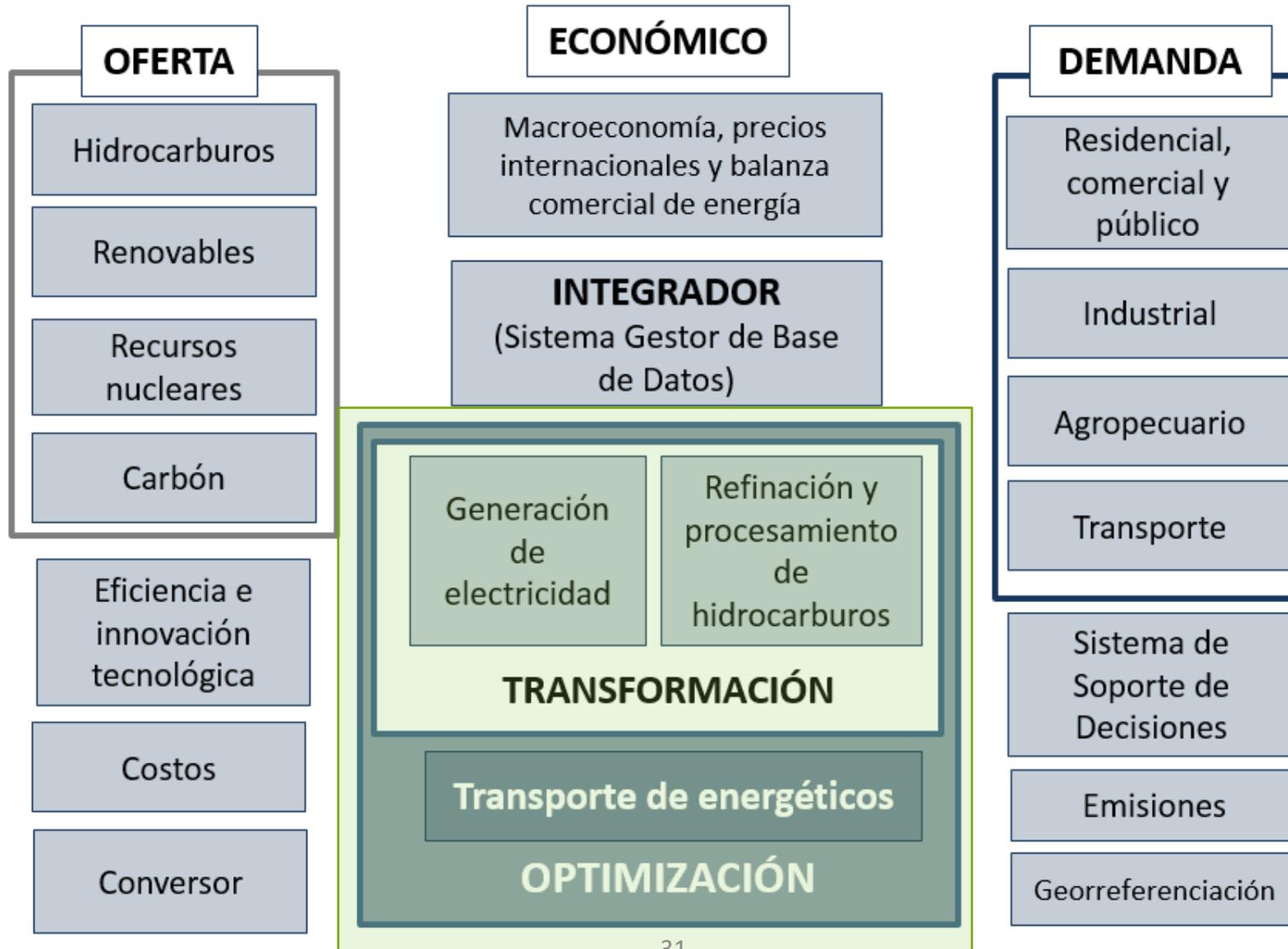
Faltante

Oferta Renovable MWh/h

Región 48-Mexicali, 01 Enero 2015



Optimización



Descripción del optimizador de generación y transmisión de electricidad

- Minimizar el costo total anual de la electricidad incluyendo simultáneamente:
 - Costo de inversión en capacidad en todas regiones
 - Costo de despacho de carga de menor costo marginal
 - Costo de transmisión entre regiones
- Sujeto a restricciones (Ej. Carga horaria, Metas de energía limpia, topes de transmisión)
- Considera todas las tecnologías de generación eléctrica usadas en México.
- En SIMISE se utilizan 9 regiones pero se planea resolver para 53.
- Se resuelve un problema de programación lineal utilizando el solver SIMPLEX de MATLAB. Basado en programación lineal.

Optimizador SIMISE

Sistema de ecuaciones simultáneas por el método de programación lineal utilizando SIMPLEX de MATLAB.

Entradas

- Tecnologías
- Capacidad y factores de disponibilidad en c/
- Región
- Demanda por región
- Líneas de transmisión entre regiones
- Costos de Infraestructura, despacho y transmisión
- Topes de generación



Salidas

- Por tecnología y región
 - Despacho óptimo Horario
 - Costo marginal horario
- Intercambio horario de electricidad entre regiones
- Global anual
 - Adiciones de Capacidad
 - Costos de Inversión
 - Emisiones de CO₂

Características

- **Periodo de estudio**

- Flexible

- **Regiones**

1. Baja California Norte
2. Baja California Sur
3. Central
4. Noreste
5. Noroeste
6. Norte
7. Occidental
8. Oriental
9. Peninsular

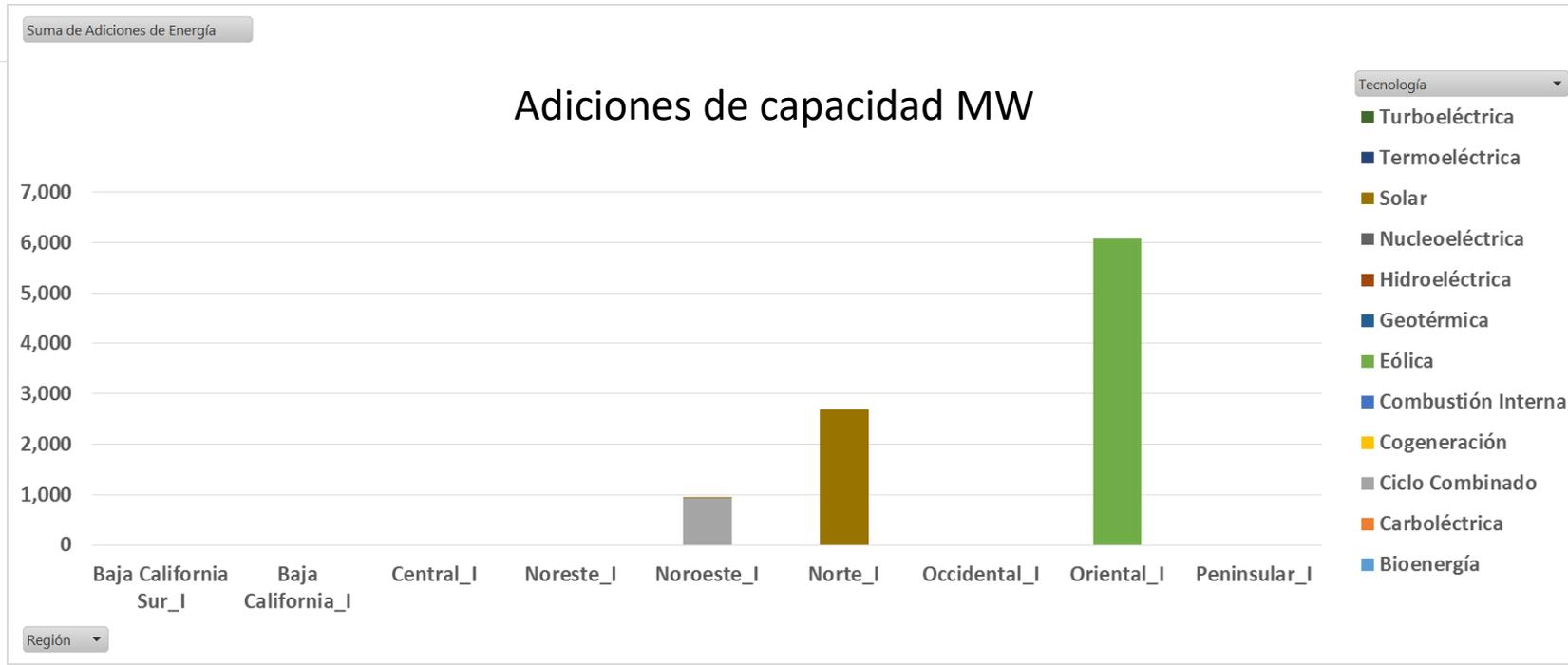
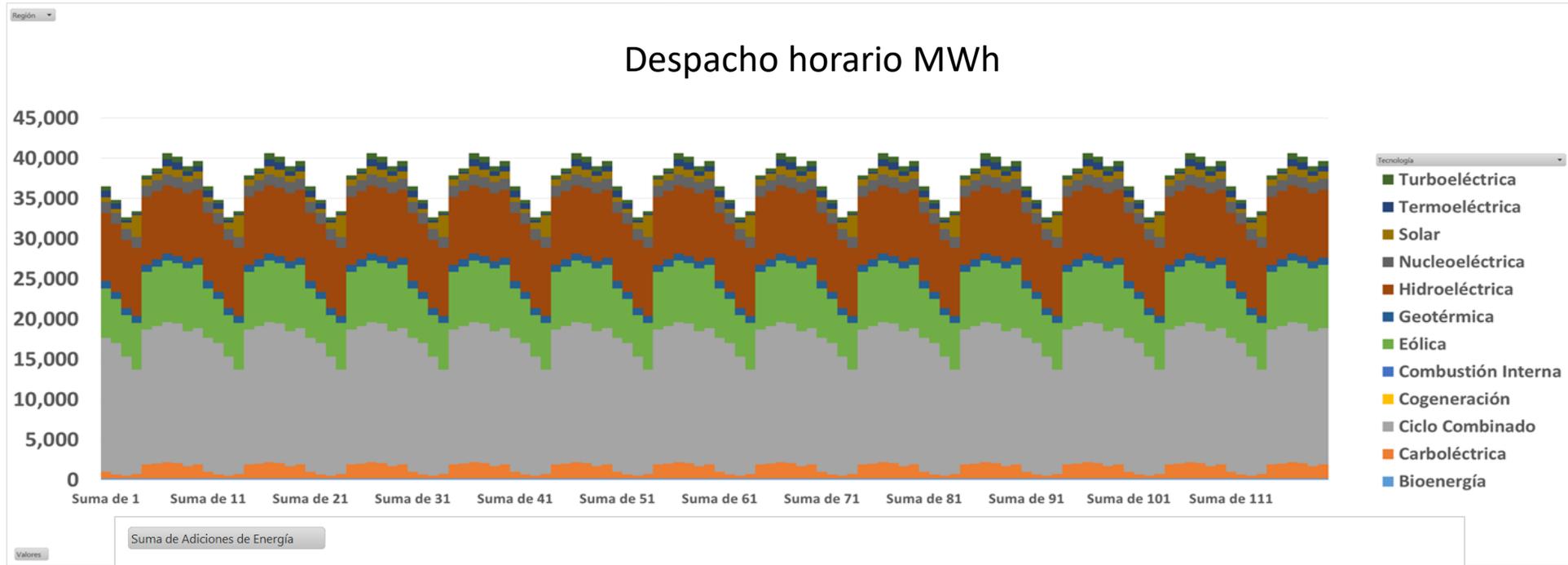
- **Intercambios**

1. Occidental – Central
2. Oriental – Central
3. Occidental – Oriental
4. Noreste – Oriental
5. Oriental – Peninsular
6. Noreste – Occidental
7. Norte – Occidental
8. Noroeste – Occidental
9. Norte – Noroeste
10. Noreste – Norte

- **Tecnologías**

1. Hidroeléctrica
2. Cogeneración
3. Turboeléctrica
4. Ciclo Combinado
5. Eólica
6. Solar
7. Termoeléctrica
8. Carboeléctrica
9. Combustión Interna
10. Bioenergía
11. Nucleoeléctrica
12. Geotérmica

Ejemplo de salida



Descripción del optimizador de transporte de gas

- Minimizar el costo de expansión de la red de transporte de Gas Natural.
 - Incremento en la capacidad de gasoductos y estaciones de compresión.
 - Costo total de expansión se presenta en forma anualizada.
- Se utilizan cinco regiones.
- Se contemplan los costos de inversión (CAPEX), de operación y de mantenimiento (OPEX) en función de la metodología descrita por la CRE.
- Se resuelve un problema de programación lineal utilizando el solver CPLEX de GAMS.

¿Qué va a hacer SIMISE en el futuro?

- Proyecciones de crecimiento económico de los sectores de consumo a nivel nacional y regionales.
- Proyecciones de PIBs sectoriales.
- Proyecciones de precios de combustibles.
- Proyecciones de los consumos de energéticos por sector y región para diferentes escenarios.
- Proyecciones de generación de energía eléctrica necesaria.
- Analizar información sobre recursos energéticos disponibles.
- Revisión de la situación actual de demanda y oferta.
- Analizar la incorporación de nuevas tecnologías de transformación.
- Identificar la infraestructura necesaria para satisfacer las demandas de energía al menor costo incluyendo redes de transmisión y ductos.

¿Qué va a hacer SIMISE en el futuro?

- Evaluar el impacto de la intermitencia de energías renovables en la capacidad necesaria.
- Cuantificar las emisiones por tipo de tecnología y combustible.
- Estudiar la expansión de infraestructura de refinación, procesamiento de gas y plantas generadoras de electricidad.
- Cuantificar los requerimientos de transporte de energéticos y transmisión de electricidad.
- Visualizar datos y resultados de los diferentes módulos de manera dinámica.
- Consulta y visualización de resultados desde dispositivos móviles.*

* Plan a futuro

Gracias por su atención.