

GESTIÓN DE CONOCIMIENTO EN UN SISTEMA DE PLANEACIÓN ENERGÉTICA

Martín del Campo Márquez, C.¹, Martínez Quintana, M.A.¹

¹ Universidad Nacional Autónoma de México, México

RESUMEN

Se muestra la aplicación de los conceptos de Gestión del Conocimiento en el desarrollo de una plataforma de bases de datos y modelos del Sistema de Modelación Integral del Sector Energético (SIMISE). Se describe cómo se integraron modelos de: macroeconomía, demanda de energéticos (electricidad, gas y petrolíferos) por sector y por región, oferta de recursos fósiles y renovables (con perfiles horarios regionales para hidro, solar y viento) y proyecciones de carga eléctrica horaria por región; así como los modelos de optimización de: sistema de generación y transmisión de electricidad, red de transporte y almacenamiento de gas natural, y sistema de refinerías y suministro de petrolíferos. El diseño del sistema de gestión de la información se basó en una solución *Business Intelligence*, como una herramienta computacional capaz de convertir sus datos en información y ésta en conocimiento para una mejor toma de decisiones en las diferentes actividades que conlleva la planeación energética. Teniendo como procesos: la extracción de datos de diversas fuentes, su limpieza para darles una alta calidad, transformación para convertirlos en consistentes, estructurados y útiles, integración al *datawarehouse*², y actualización periódica de la información. Se describen las funciones de una herramienta de visualización capaz de mostrar los resultados del SIMISE de una manera dinámica y amigable a través de una aplicación web para la toma de decisiones y análisis de la información, dividiendo a esta última por área del conocimiento. Se describen las prácticas para que el desarrollo del proyecto sirva como un promotor de la capacitación y del trabajo colaborativo. Se muestran los resultados favorables derivados de la vinculación que el equipo de desarrolladores ha tenido con entidades nacionales e internacionales de los tópicos de energía y cambio climático.

1. INTRODUCCIÓN

En septiembre de 2013, la Secretaría de Energía (SENER) de México convocó al desarrollo de una herramienta de planeación con tecnología en el estado del arte, que coadyuvará a cumplir con las atribuciones y responsabilidades encomendadas como referente de política pública de largo plazo en el sector energético nacional. Para el desarrollo del proyecto, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), a través de su Coordinación de Innovación y Desarrollo (CID), firmó un convenio para desarrollar el proyecto Sistema de Modelación Integral del Sector Energético (SIMISE), considerado como el primer esfuerzo nacional para crear herramientas para la planeación indicativa de mediano y largo plazos. Se formó un equipo multidisciplinario con académicos e investigadores expertos en temas de ciencias de la tierra, geología, geofísica, sistemas energéticos, planeación energética, modelación macroeconómica y geoespacial, optimización desde la perspectiva de ingeniería, y herramientas matemáticas y computacionales. El objetivo general del proyecto consistió en desarrollar modelos matemáticos y bases de datos, codificarlos e integrarlos en una plataforma informática llamada SIMISE para la SENER funcionando a partir de octubre de 2017 [1]. En la primera parte del artículo, se hace una descripción general de las actividades de planeación que se pueden realizar con el SIMISE, y en la segunda, se describen las estrategias de gestión del conocimiento aplicadas durante el desarrollo del proyecto, tema central del Segundo Simposio Internacional sobre Educación, Capacitación, Extensión y Gestión del Conocimiento en Tecnología Nuclear, 2017.

¹ E-mail del primer autor: simpson@sur.edu.ar

² El *datawarehouse* es un almacén estructurado con datos de calidad.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SIMISE

2.1. Alcance del Proyecto SIMISE

Desarrollar una herramienta de planeación integral indicativa de largo plazo, que permita realizar estudios del comportamiento del sector energético 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.

2.2. Análisis para la Planeación Energética

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 balance de oferta-demanda es un insumo fundamental para el análisis de impactos ambientales del sector energético. Toda la información, obtenida hasta ahora por los diferentes análisis, se alimenta a un análisis de toma de decisiones que debe contener suficientes elementos para seleccionar el o los mejores planes de expansión energética. La Figura 1 muestra el conjunto de análisis requeridos para la planeación energética.

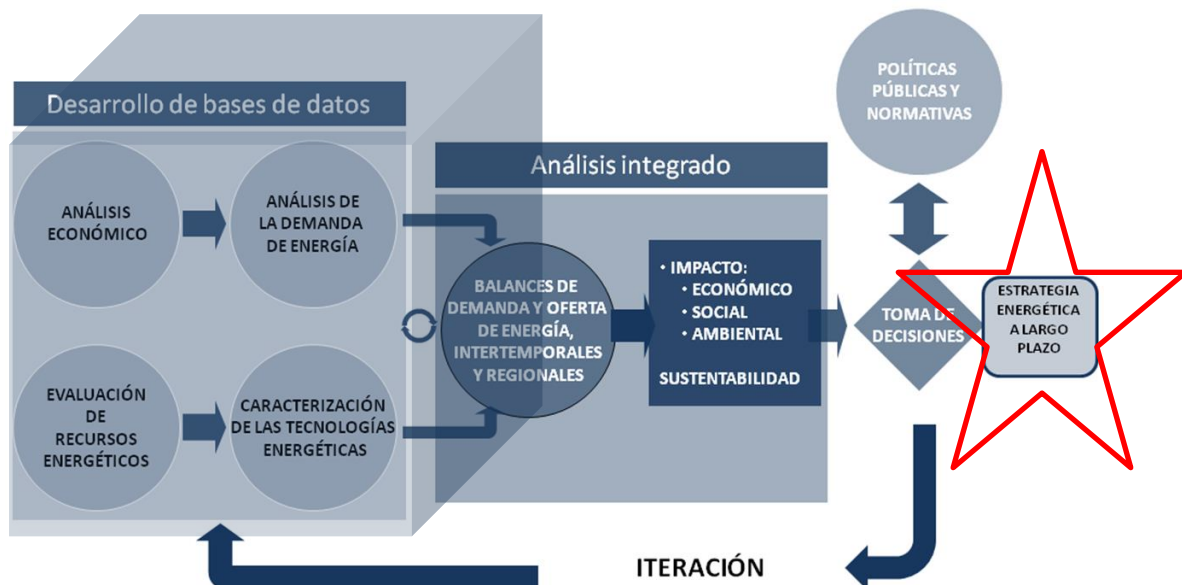


Figura 1. Esquema de Análisis para la Planeación Energética.

Los análisis económicos, consideran el comportamiento histórico de las características macroeconómicas y cómo pueden cambiar en el futuro. Para cada región del país, se analiza el crecimiento socioeconómico, demográfico y se obtiene el producto interno bruto (PIB) de cada sector de la economía, así mismo, se hacen proyecciones de los precios de los energéticos primarios y secundarios en el contexto del comercio internacional. Los análisis

económicos tienen que ser actualizados regularmente, al menos una vez al año y tienen que ser preparados en congruencia con los escenarios energéticos que se proponen analizar.

El análisis de la demanda evalúa los consumos anuales de energía en los diferentes sectores de la economía, como lo son el sector industrial, transporte, agropecuario, residencial, público, comercial. Se toman en cuenta las variaciones estacionales de demanda de energéticos para cada región del país. Para la electricidad también se proyecta la demanda máxima de carga coincidente que se espera para cada año dentro del periodo de estudio y las variaciones de carga horaria en las diferentes regiones. Además, se realizan las proyecciones de la generación anual de electricidad que debe ser producida en las plantas y transmitida por las redes hasta los centros de distribución.

La evaluación de recursos energéticos examina la disponibilidad y oferta de los recursos energéticos potenciales, incluyendo: combustibles fósiles, recursos de energías renovables, energía nuclear, y también energía importada. Las series históricas de oferta deben ser estudiadas con técnicas determinísticas y probabilísticas para encontrar las correlaciones y los factores de ajuste necesarios para obtener las proyecciones de oferta de recursos energéticos.

La caracterización de las tecnologías (de transformación y transporte de energéticos), permite identificar todas las tecnologías que pueden ser utilizadas para ampliar la infraestructura energética teniendo en cuenta sus costos y parámetros técnicos de inversión y operación.

El desarrollo de las bases de datos debe ser congruente con toda la información requerida para realizar las cuatro actividades básicas de planeación energética, Análisis Económicos, Análisis de Demanda, Evaluación de Recursos Energéticos y Caracterización de Tecnologías. Además, debe contar con las características necesarias para integrar adecuadamente toda la información en la siguiente actividad, Balance óptimo de Oferta-Demanda, en la que se conjuntan los datos de demanda y oferta y se modela el sector energético mexicano completo.

El balance de oferta-demanda de energía y sus respectivos impactos ambientales deben ser optimizados para obtener la producción de energía de menor costo teniendo en cuenta que es un problema multiregional y de largo plazo, sujeto a restricciones económicas, ambientales, tecnológicas y de seguridad energética, dentro de un contexto internacional y con un enfoque de desarrollo sostenible. Es conveniente, en algunos casos, tener la posibilidad de incorporar en la optimización el despacho energético con la variabilidad que le corresponda, por ejemplo, un despacho horario para el caso de la electricidad.

El análisis de impacto económico, ambiental y social se realiza con base en un proceso iterativo de diferentes corridas en las cuales se analizan diferentes escenarios, con cambios en las variables importantes, para obtener como resultado una gama de escenarios de expansión energética a largo plazo con diferentes atributos económicos, ambientales y de seguridad energética.

Lo más recomendable es hacer un análisis integrado de optimización de portafolios energéticos y sus respectivos impactos (económicos, ambientales y sociales), siempre y cuando se tenga suficiente información y se tengan claras las conexiones de interés entre sub-sectores, para evaluaciones específicas que se planteen.

En el análisis de toma de decisiones se presentan los resultados en forma amigable y visual a los tomadores de decisión, para que sirvan de información valiosa para la definición de

planes y prospectivas integrales del sector energético. El SIMISE incluye una aplicación [2] para la toma de decisiones basada en el Método de Vector de Posición de Mínimo Arrepentimiento. Se crea una *alternativa ideal*, que no existe en el conjunto de alternativas que se desea comparar, pero que adquiere los mejores valores de los n criterios obtenidos dentro del conjunto de alternativas en evaluación o *alternativas reales*. La “alternativa ideal” se coloca en el centro de las coordenadas del espacio n-dimensional. Esto se logra mediante una normalización lineal para cada criterio en la que al mejor valor se le asigna 0 y al peor 1. Cuanto menor sea la magnitud del vector de posición de cada alternativa real, “menor arrepentimiento”. En el idioma inglés es llamado *Position Vector of Minimum Regret* [3].

2.3. Funciones del SIMISE

Es importante destacar que el sector energético de nuestro país es muy complejo, con una extensión territorial muy grande, con distribución de recursos naturales fósiles y renovables muy heterogéneos, con diferencias importantes en la distribución de la riqueza entre centros urbanos y zonas rurales, con desarrollo de infraestructura energética desigual. A todo lo anterior, hay que sumarle que, en este momento México se encuentra en medio de una transición y reforma energéticas con grandes cambios.

Los análisis de planificación se basan en balances integrales sobre la forma en que se consume (uso final), convierte (procesos de transformación), transporta (ductos para transporte de crudo y petrolíferos y redes de transmisión eléctrica) y produce energía (extracción de recursos fósiles y nucleares o aprovechamiento y gestión de recursos renovables) en una región y su interacción con otras regiones (mercados nacionales y el de EEUU), a partir de consideraciones y restricciones relacionadas con la población, desarrollo económico, tecnología y precios, entre otras.

2.4. La estructura Modular del SIMISE

La Figura 2 muestra un esquema de la estructura modular del SIMISE con los principales componentes que permitirán realizar los análisis de planeación energética antes descritos.

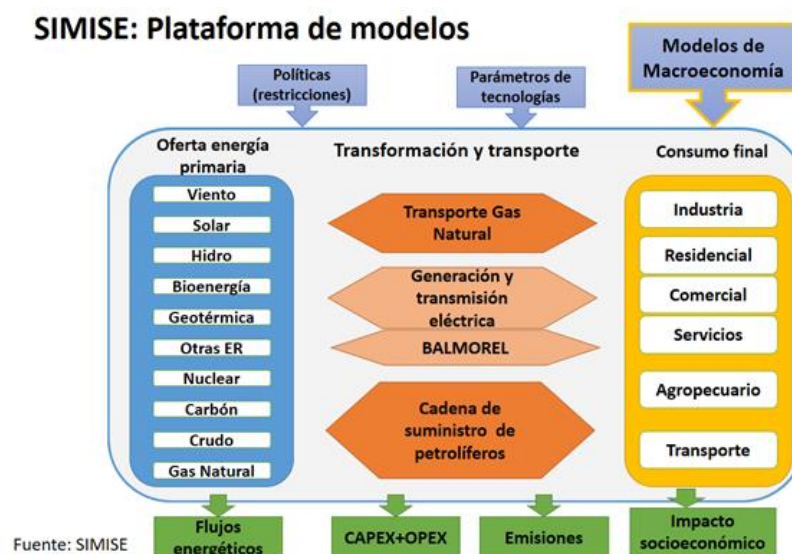


Figura 2. Estructura Modular del SIMISE

Algo que es de vital importancia para el desarrollo y uso del SIMISE es la disponibilidad de datos completos y correctos los cuales deberán ser recibidos a través del Sistema de Información Energética de la SENER.

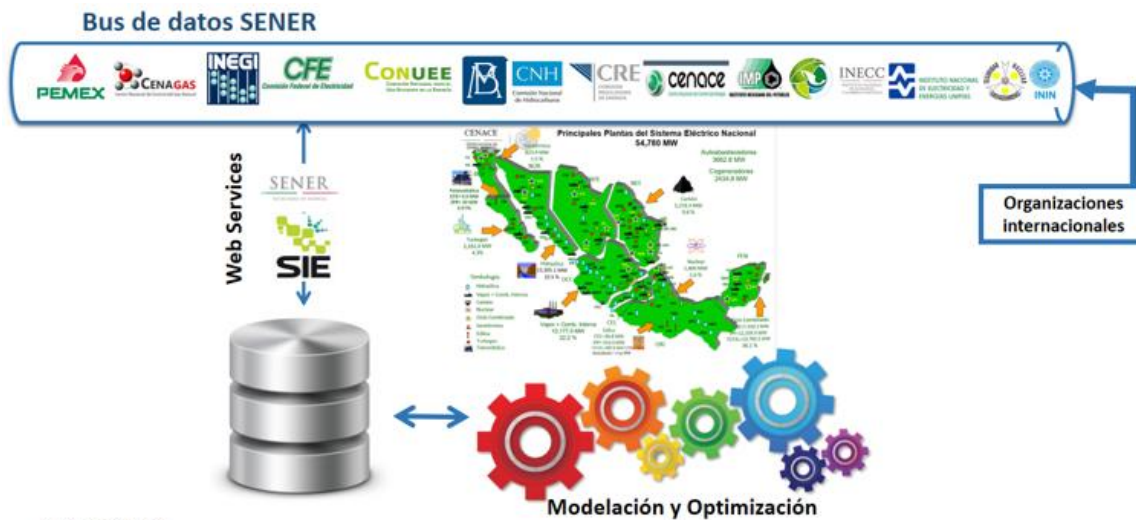
El SIMISE cuenta con el Módulo Económico o Macroeconomía, el cual está constituido por modelos avanzados para la realización de los análisis macroeconómicos del país dentro de un contexto de comercio internacional. Para analizar la demanda futura de energía se tiene el Módulo de Demanda en el que se 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 incluye Módulos de Oferta con cuatro componentes importantes: 1) Hidrocarburos (gas y petróleo), 2) Renovables (hidroeléctrica, eólica, geotérmica, solar y biomasa), 3) Nuclear y 4) Carbón. Los modelos desarrollados en el módulo de oferta tienen enfoque específico para evaluar los recursos energéticos del país que se pueden ofertar en años futuros. Los Módulos de Transformación y Transporte incluyen metodologías de optimización avanzada adecuada para cada sector principal. Estos módulos son los siguientes:

- El Módulo de transporte de Gas Natural procesa la información y optimiza la infraestructura de la red de transporte de gas natural desde la extracción o importación hasta los consumidores, incluyendo el almacenamiento.
- El Módulo de Generación y transmisión de Electricidad procesa la información necesaria para planear la generación y transmisión de electricidad en nueve regiones, teniendo en cuenta el parque existente, así como las plantas y enlaces candidatos a ser adicionados. El modelo de México³ en BALMOREL [4] fue parte del convenio de Colaboración Dinamarca-México sobre Cambio Climático. El modelo BALMOREL es considerado un módulo que recibe insumos de SIMISE para análisis muy detallados del sector eléctrico.
- El Módulo de Cadena de Suministro de Petrolíferos, desarrollado para la caracterización de costos y parámetros de las plantas de transformación y procesamiento de hidrocarburos y la infraestructura y operación de medios de distribución de petrolíferos, incluyendo el almacenamiento.

En el SIMISE, el análisis global del sistema energético se realiza en etapas vinculando las entradas de unos módulos con otros para contestar a preguntas específicas que generan escenarios del sistema energético mexicano. La optimización se enfoca a encontrar escenarios de expansión del sistema energético mexicano de menor costo total, que cumplan con la entrega de la energía demandada para todos los años del periodo, todos los sectores y todas las regiones y para analizar situaciones derivadas de la reforma energética que antes no existían en México. Una aplicación auxiliar permite cuantificar las emisiones a la atmósfera, tanto de los sectores de consumo final, como las producidas por los procesos de transformación (plantas de generación de electricidad, refinerías y otras). Otra aplicación sirve para el cálculo de costos y parámetros técnicos de diversos tipos de infraestructura del sector energético.

³ Escenarios de energía renovable para México, Análisis basado en modelos de mayor uso de energía renovable en el sistema eléctrico mexicano usando BALMOREL.

El flujo de datos entre los diferentes módulos está administrado por el Sistema Gestor de Bases de Datos [5], el cual es un módulo integrador que gestiona que los datos se transfieran con confiabilidad y de manera eficiente, así como, realizar consultas avanzadas mediante el cruce de información para un análisis multidimensional de variables. Así también, se está realizando una colaboración con la dirección de Gobierno Abierto, Innovación y Calidad para la integración de SIMISE al *Bus de Datos* de la SENER en el cual la UNAM actuará como receptor y emisor de la información del SIMISE (Ver Figura 3).



Fuente: SIMISE

Figura 3. Flujo de Información del SIMISE con el Sistema de Información Energética

La estructura del SIMISE cuenta con todos los elementos de una solución *Business Intelligence*, los cuales son:

- Fuentes de información: las cuales son el insumo principal del *Datawarehouse* y las hay tanto internas como externas.
- Procesos ETL: los cuales como sus siglas lo indican, se refieren a la extracción (Extract), transformación (Transform) y carga (Load) de información al *Datawarehouse*. Este proceso es de suma importancia, ya que la información antes de entrar al sistema tiene que ser transformada, limpiada, filtrada y redefinida para una manipulación más eficiente de la misma.
- *Datawarehouse* o Almacén de Datos: es el núcleo del sistema en el cual se almacenan los datos de tal forma que maximicen su flexibilidad, facilidad de acceso y administración.
- Motor OLAP (OnLine Analytical Processing – Procesamiento Analítico en Línea): este componente nos da la capacidad de cálculo, consultas, funciones de planteamiento y análisis de escenarios con grandes volúmenes de información haciendo cruce de variables de manera multidimensional.
- Módulos y Aplicaciones accionados por un Cuadro de Mando: cada uno de ellos nos permiten visualizar la información contenida en el *Datawarehouse* y analizarla a diferentes niveles de detalle, hacer operaciones con ella y mostrarla de diferentes maneras para una mejor toma de decisiones, además de que gracias a los mismos se pueden hacer estudios por cada rama o especialidad.

3. EL SIMISE PARA LA GESTIÓN DE CONOCIMIENTO

3.1. La visualización en el SIMISE

El objetivo es mostrar de una manera dinámica y amigable los resultados para el análisis de la información y toma de decisiones. La selección del tipo de visualización es un paso muy importante, ya que en éste radica la parte “amigable” de los resultados, es decir, en este paso se elige la forma de visualizar los resultados, para lo cual se desarrollaron diferentes plantillas, que se listan a continuación: Gráficas de barras, Gráficas de dona, Gráficas de pastel, Gráficas agrupadas, Gráficas apiladas, Gráficas de línea, Gráficas de varias líneas, Gráficas tipo Sankey. Una vez elegido el tipo de visualización se procede a la transformación de los resultados, ya que para cada tipo de gráfica se necesita acomodar los resultados de diferente manera y/o darle un tratamiento de tipo, es decir, redondearlos, pasarlos de una unidad a otra, ponerles el signo de pesos si es el caso, etc. Se procede a elegir el tipo de archivo que los contendrá para que el visualizador pueda leerlos correctamente. Los tipos de archivos que actualmente puede ocupar el visualizador son: Archivos CSV (Valores separados por comas); Archivos TSV (Archivos separados por tabulaciones); Archivos JSON (Notación de Objetos de JavaScript).

Después se hace la generación de la plantilla o reutilización de alguna desarrollada con anterioridad. Para esta etapa se utiliza programación web con HTML5, CSS, Bootstrap, PHP, JavaScript, JQuery, AJAX, D3 y C3 con las cuales se logra otro punto importante de los objetivos de la aplicación visualizador, el dinamismo, el cual nos permite crear escenarios múltiples agregando o quitando variables dentro de un mismo gráfico para su respectivo análisis. Posteriormente se procede a unir el archivo generado a través de la transformación y formateo de resultados, con la plantilla para poder así acceder a ella de una manera transparente, sin tener que cargar los resultados cada vez que se quieran visualizar. Así también para cada una de las plantillas se tiene toda la documentación dentro del código para saber qué está haciendo exactamente cada una de las funciones del programa, y no sólo eso, sino que también cada una de las variables más importantes utilizadas para darle dinamismo a la visualización tiene su propia descripción para que en un futuro sea más fácil combinar múltiples plantillas para generar resultados más elaborados.

3.2. Trabajo colaborativo UNAM/SENER a través de SIMISE

Una propuesta del uso del SIMISE en beneficio de la SENER se puede esquematizar en la Figura 4. La UNAM apoyaría a la SENER en el desarrollo de modelos y bases de datos y su incorporación en herramientas amigables y actualizadas, de manera que la SENER pueda ocuparse esencialmente de sus tareas de planeación y formulación - ejecución de política energética, así como la toma de decisiones para las estrategias energéticas de largo plazo, incluyendo la atención de los compromisos con organismos internacionales.

Durante el desarrollo del SIMISE se respaldaron regularmente las versiones de software, bases de datos y documentos en un el Sistema de Almacenamiento de Respaldo en Red (NAS).

3.3. SIMISE para la Formación de Recursos Humanos

El desarrollo del proyecto sirvió para formar recursos humanos en una gran variedad de temas de ciencias de la tierra, geología, geofísica, sistemas energéticos, planeación energética, modelación macroeconómica, georreferencia, optimización, y herramientas matemáticas y computacionales. SIMISE servirá también como plataforma de modelos y bases de datos para poder formar especialistas en planeación energética realizando desde servicio social, tesis de licenciatura, maestría y doctorado. Ya se realizaron 3 tesis de maestría [2, 6, 7] y dos de licenciatura [5, 8], actualmente 4 estudiantes PhD y 8 master tienen temas de tesis relacionados con SIMISE.

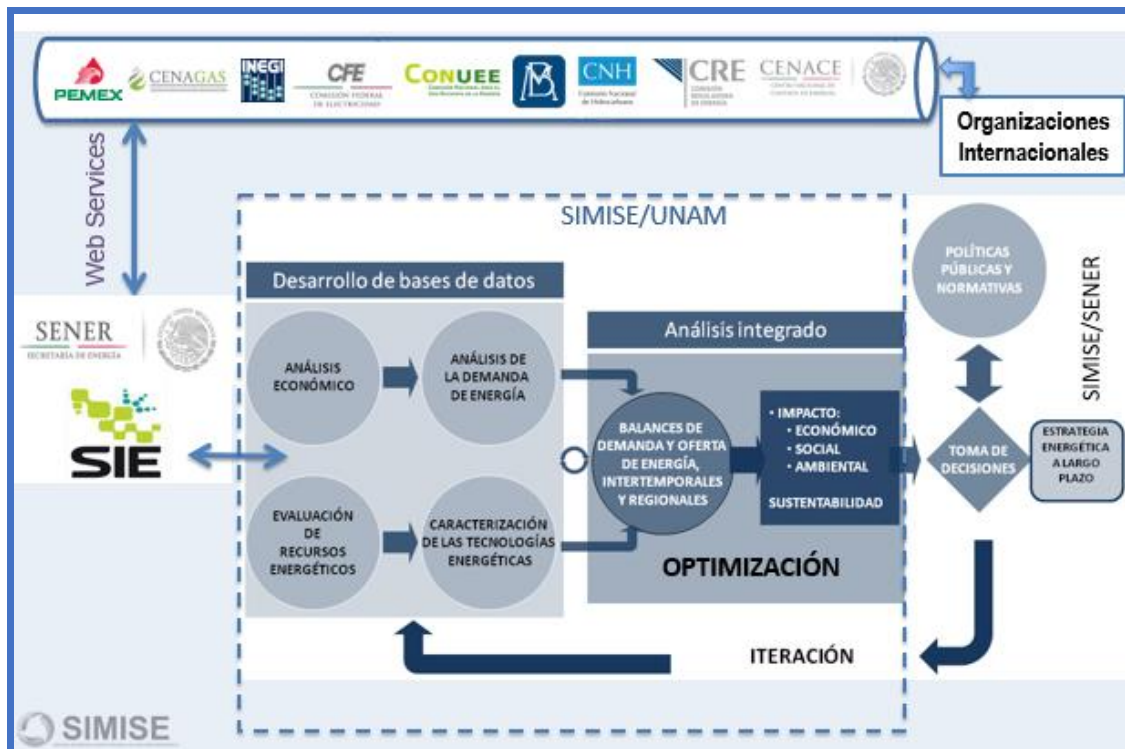


Figura 4. Esquema funcional del SIMISE, participación de la UNAM y la SENER.

3.4. SIMISE para la Vinculación de SENER con la Academia

Durante el desarrollo del proyecto el personal de la SENER trabajó muy de cerca de los desarrolladores del SIMISE, lo cual enriqueció de manera fundamental ambos lados. En la UNAM, los académicos se vincularon con la problemática real que vive el día a día la SENER y por el lado del personal de la SENER se tuvo un acercamiento y una convivencia que sirvió para profundizar sobre la importancia del uso de los modelos para realizar sus actividades. Los esfuerzos de modelación en planeación de la SENER están en proceso de vinculación con las diferentes Direcciones de la Secretaría y también hacia afuera con instituciones nacionales. La UNAM se mostró abierta a apoyar a la SENER en todas estas vinculaciones y ofrece capacitar personal para usar el SIMISE. El grupo de la UNAM adquirió experiencia en la preparación de audiovisuales que junto con los manuales de operación pueden guiar a los usuarios del SIMISE.

3.5. SIMISE para la Gestión del Conocimiento en la SENER

El SIMISE es también un elemento importante para la *gestión del conocimiento* dentro de la SENER, puede ser usado para formar recursos humanos especializados en la planeación y modelación de sistemas energéticos. Apoyo fundamental para disminuir la pérdida de conocimiento que se da con la rotación de personal derivada de los cambios de gobierno sexenales.

4. CONCLUSIONES

La UNAM reunió investigadores, académicos y colaboradores tecnológicos multidisciplinares para desarrollar el SIMISE, siendo ésta la primera plataforma de modelos, creada en México, que integra todas las actividades para la planeación energética. Con base en los mejores desarrollos internacionales, el SIMISE conjunta bases de datos y modelos en una plataforma escalable, flexible y dinámica para apoyar a la SENER en sus actividades de planeación. El grupo de desarrolladores de la UNAM en modelación energética, en apoyo a la SENER y a través del uso del propio SIMISE en sus diferentes etapas de desarrollo, ha facilitado, las colaboraciones internacionales que la SENER ha adquirido en el tema de energía y cambio climático. La Figura 5 muestra una imagen en la que se indican las principales alianzas estratégicas para vincular más modelos al SIMISE, para que éste sea utilizado como la principal plataforma de modelación energética. Lo anterior ha sido un objetivo primordial de la presente administración de SENER.



Figura 5. Alianzas estratégicas para facilitar la colaboración internacional.

Con el SIMISE se cumplió el objetivo de la SENER de potencializar sus capacidades de análisis de escenarios energéticos con base en modelos matemático-computacionales muy completos, confiables y continuamente actualizados para responder a preguntas relacionadas con políticas energéticas.

5. AGRADECIMIENTOS

El SIMISE para la planeación energética de México se hizo una realidad gracias los fondos económicos que otorgó la SENER y al seguimiento técnico detallado y continuo que brindó la Subsecretaría de Planeación, a través de la Dirección General de Planeación e Información Energética, sumada la gran colaboración que ofrecieron muchas personas dentro de la SENER a lo largo de los cuatro años del proyecto.

Los miembros del grupo de desarrollo por parte de la UNAM son: Dra. Cecilia Martín del Campo (Coordinadora del proyecto), Dr. Juan Quintanilla Martínez (Asesor en Sistemas Energéticos), M en I. Giovanni Octavio Hernández (Modelación y Optimización de Sistemas Energéticos), Dr. Armando Sánchez Vargas (Modelación Economía y Consumo), M en I Rafael García Jolly (Asesor en Optimización de Refinación de Petrolíferos), M en C. José Luis Lezama Campos (Modelación Matemática Computacional y recursos geofísicos), Dr. Adrián Livas García (Modelación de Transporte de Gas), Ing. Armando Hurtado Arroyo (Modelación de Producción de Hidrocarburos), Ing. Diego Dorantes González (Modelación de Sistemas Eléctricos), Ing. Marco Antonio Martínez Quintana (Ciencias Computacionales y *Business Intelligence*), Ing. Ricardo Rubén Cruz Salinas (Modelación de Sistemas Eléctricos), Lic. Débora Martínez Ventura (Econometría), M en C. Priscila Medina Ortega (Modelación de recursos hidrológicos), Dr. Humberto Marengo Mogollón (Asesor en Hidroenergía), Ing. Ricardo Moreno Vázquez (Visualización de gráficas dinámicas), M en I. Mariana Karina Hernández Escalante (Modelación de bioenergía), M en C. Diana Calipse Rosado Viurques (Modelación de recursos) y al Ing. Roberto García (Gestión de Proyectos). Asimismo, a lo largo del desarrollo del proyecto se contó con la participación de M en I, Ulises Adair Hernández Hurtado, M en I. Berenice Hernández Miranda, Lic. Ana Lys Herrera Merino, Antonio Ponce de León Turiján, Miguel Ángel Gallegos Ortega, M en I. Dann Moreno Alcalá, M en I. Regina Vázquez Ponciano, Verónica Villa Rivera, Diana Guadalupe Pérez Peñaloza, Lic. José Manuel Márquez Estrada, y Lic. Eric Hernández Ramírez y José Ramón Luna, Ángel Rodríguez Abarca, los miembros del grupo de trabajo les agradecen su valiosa colaboración.

6. REFERENCIAS

1. UNAM, Sistema de Modelación Integral del Sector Energético ENTREGABLE No. 9. “Reporte final”. ACTIVIDAD 5. Validación integral del sistema. Septiembre 2017.
2. Ángel Rodríguez Abarca. *Implementación del Vector de Posición de Mínimo Arrepentimiento para la Toma de Decisiones en Planeación Energética*. Tesis de Maestro en Ingeniería en Energía. UNAM (2017). <http://132.248.9.195/ptd2017/junio/515023932/Index.html>.
3. Cecilia Martín-del-Campo, Juan-Luis François, Guillermo Estrada-Sarti. “Minimal Global Regret Analysis for Electricity Generation Expansion”. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*. Vol. 11, No. 4, 363-370 (2016).
4. Ea Energy Analyses. *Model-based, long-term renewable energy scenario analyses of the Mexican electricity sector*, Completion report (phase III) 2017.
5. Marco Antonio Martínez-Quintana. *Sistema de Modelación Integral del Sector Energético*. Informe de Trabajo Profesional. Ingeniero en Computación. UNAM (2015). <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/8651>.

6. Mariana Karina Hernández Escalante. *Análisis de la participación de la biomasa en la planeación energética en México*. Tesis de Maestra en Ingeniería en Energía. UNAM (2017). <http://132.248.9.195/ptd2017/abril/515023860/Index.html>.
7. Ulises Adair Hernández Hurtado. *Análisis de la participación de la energía nuclear en la planeación energética en México*. Maestría en Ingeniería en Energía. UNAM (2017). <http://132.248.9.195/ptd2017/abril/515023877/Index.html>.
8. Armando Hurtado Arroyo. *Análisis Paramétrico de Series de Tiempo de Producción de Hidrocarburos en México*. Ingeniero Petrolero. Tesina con Informe de Servicio Social. UNAM (2016). <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/11121>.