

Modelo de Generación Eléctrica

Electric Generation Model

- Ing. Pablo Daniel Haimovici – Investigador ad-honorem UADE (Universidad Argentina De la Empresa) – Alumno de Ingeniería Industrial – Facultad de Ingeniería – UADE. pdhaimovici@yahoo.com.ar
- Ing. Edgard Hernán Maimbil – Docente investigador UADE (Universidad Argentina de la Empresa) – Tutor Tesis de Grado – Ingeniería Informática. edmaimbil@uade.edu.ar , tinymaimbil@gmail.com .
- Ing. Nahuel Hernán S. Romera – Docente investigador UADE (Universidad Argentina de la Empresa) – Co Tutor Tesis de Grado – Ingeniería Informática. nahuel.romera@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

El comportamiento del mercado de energía eléctrica de un país es muy complejo. En la medida que la población de éste crece, al mismo tiempo lo debe hacer su propia estructura de abastecimiento para que la oferta pueda enfrentar el crecimiento de la demanda. Además del propio crecimiento del mercado energético, también se deben renovar las instalaciones que, por obsolescencia o su propio ciclo de vida útil, representan una reducción significativa de la Matriz Energética del país.

Para comprender el comportamiento de la Matriz Energética, se debe poseer una estrategia a largo plazo que la acompañe en cuanto a su desarrollo (construcción de nuevas instalaciones de generación) y su renovación (reemplazo de las instalaciones que cumplan con su vida útil).

La Matriz Energética puede ser dividida en dos módulos bien diferenciados: la Oferta y la Demanda:

- La oferta comprende todas las instalaciones de generación disponibles para satisfacer a la Demanda.
- La Demanda comprende todas las necesidades de consumos de energía eléctrica del mercado.

La relación entre la Demanda y la capacidad de satisfacerla por medio de la Oferta, definen la eficiencia de la Matriz Energética. Un factor importante a considerar es que el crecimiento de las instalaciones de generación debe ser mayor que el crecimiento de la demanda.

CONTEXTO LOCAL

La Matriz Energética de la Argentina se encuentra conformada principalmente por tres fuentes de generación diferentes:

- Centrales Hidroeléctricas
- Centrales Nucleares
- Centrales Térmicas

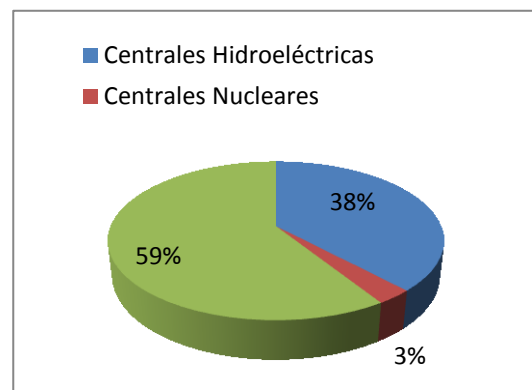


Figura 1: Participación por fuente de Generación

Las Centrales Térmicas Convencionales comprenden: Turbina a vapor, turbina a gas y ciclos combinados.

Traduciendo éstos valores en niveles de Potencia Instalada:

- Centrales Hidroeléctricas: 10947 MW
- Centrales Nucleares: 1005 MW
- Centrales Térmicas: 16050 MW

Cada tipo de central posee sus propias características y requisitos para poder hacer uso de ellas.

Las centrales hidroeléctricas principalmente dependen de zonas en donde se pueda crear un embalse y tengan grandes caudales de agua.

Las centrales nucleares requieren de zonas donde puedan abastecerse de agua natural para los procesos y a su vez que las zonas de emplazamiento no correspondan a zonas sísmicas.

Las centrales térmicas convencionales presentan la característica de requerir insumos no renovables (combustibles fósiles) en grandes cantidades.

Cada país presenta diferentes características en cuanto a su geografía y riqueza de materias primas, por lo que una adecuada selección de cuáles deben ser las fuentes principales de la matriz energética del país dependerán fundamentalmente en las estrategias de explotación de los propios recursos y la disponibilidad que la geografía les permita. Sin embargo, todos lo mencionado hasta el momento se tratan de factores que permiten en mayor o menor medida la aplicación de las fuentes de generación mencionadas.

Uno de los factores principales para construir y desarrollar una Matriz Energética estable, es la planificación. La misma debe contemplar las fuentes de generación disponibles (tanto en el espacio, como en el tiempo). Esto quiere decir que se deben considerar aquellas fuentes de generación que se puedan aplicar sobre los terrenos disponibles y que sea posible su uso prolongado en el tiempo. Para realizar una correcta planificación de los recursos y las instalaciones, se debe contar además con un plan estratégico en donde se puedan proyectar las necesidades futuras, y así poder realizar una mejor gestión de las instalaciones y recursos disponibles.

Utilizando las herramientas que brinda la Dinámica de Sistemas, se construyó un modelo causal y computacional del comportamiento de una Matriz Energética (Oferta), y así realizar el análisis de escenarios centrado en el desarrollo de las tres principales fuentes de generación del país, para poder desarrollar estrategias a largo plazo, tomando en cuenta las variables principales del modelo.

Palabras Clave: Oferta – Demanda – Matriz Energética – Planificación – Estrategia – Comportamiento.

The performance of the electrical energy market in a country may be complex. At the same time as the population rise, their supply structure must grow to supply confronts demand. In addition, the increasing energy market must renovate the facilities which use either obsolescence or their own life cycle. This factor represents a significant reduction in the energy matrix of the country.

The comprehension of the energy matrix performance requires a long-term strategy where the development (constructions of new facilities) and the renovation (facilities which fulfill their shelf-life) must be involved.

The Energy Matrix may be divided into two clearly differentiated modules: Supply and Demand:

- The offer includes all available generation facilities to satisfy the demand.
- The Demand includes all market consumption needs to electrical energy.

The relationship between demand and the ability to meet them using the Offer define the efficiency of the energy matrix. The growth of generation facilities must be greater than the growth of demand. This parameter is considered as a significant factor.

LOCAL CONTEXT

The Argentinean Energy Matrix is made up of three different generation sources:

- Hydroelectric Power Plants
- Nuclear Power Plants
- Thermal Power Plants

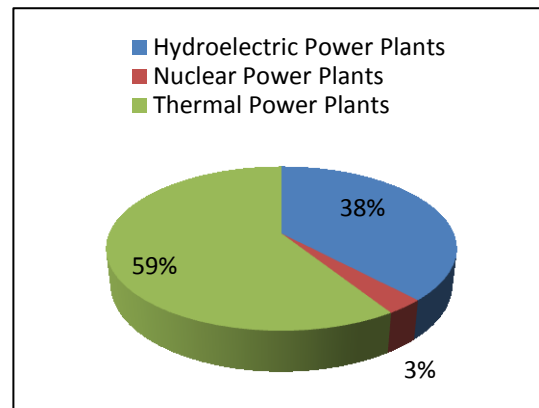


Figure 1: Participation by generation sources.

INTRODUCTION

Conventional Thermal Power Plants include steam turbine, gas turbine and combined cycles.

The translation of these values to levels of Installed capacity is:

- Hydroelectric Power Plants: 10947 MW
- Nuclear Power Plants: 1005 MW
- Thermal Power Plants: 16050 MW

Each type of power plant has its own features and requirements to use them.

Hydroelectric plants depend on areas where they may create a dam and have high flows of water. Nuclear plants require areas where natural water can be obtained for their processes. In addition, areas where location does not correspond to earthquake zones.

Conventional Thermal plants require non-renewable resources (fossil fuels) in large quantities.

Countries have different characteristics in terms of geography and raw materials. Therefore, the strategies to exploit their resources and geography will depend upon the appropriate selection of the main sources of the country's energy matrix. However, all forenamed factors in a greater or lesser extent allow to the application of the generation sources.

Planning is one of the main factors to build and develop a stable energy matrix. It is necessary to use the available generation sources. It must be considered those ones that can be applied to the land available and those that can be used in a long-term. To an appropriate planning of the resources and facilities, a strategic plan allows to project the future needs must be required. This plan will be able to carry out an efficient manage the facilities and resources.

Using the tools provided by the system dynamics, a causal and computational model of an energy matrix behavior (supply) has been built. A scenario analysis focused on the development of the three main sources of generation in the country can be performed to develop the best strategy for the future, taking in account the main variables.

Keywords: Supply - Demand - Energy Matrix - Planning - Strategy - Performance.

2. OBJETIVO

El objetivo del trabajo es modelar el comportamiento de la Matriz Energética de la República Argentina, mediante el relevamiento del sistema completo y los respectivos subsistemas que lo componen. A partir de ellos y aplicando los lineamientos de la dinámica de sistemas, por medio del software VENSIM PLE, se busca desarrollar los modelos conceptual y de Forrester orientados al desarrollo de las tres fuentes principales de generación eléctrica en el país (Hidroeléctrica, Nuclear y Térmica), constituyendo de ésta manera, los tres escenarios que se desean ensayar para poder establecer las características, bondades y defectos de cada uno de ellos.

En una primera etapa se busca comprender el comportamiento de la matriz energética, su frontera, sus variables principales, con el objetivo de establecer los subsistemas.

En una segunda etapa se busca desarrollar los subsistemas e identificar cuáles son las variables sensibles del modelo que afectan al rendimiento de la matriz energética.

En una tercera etapa se busca la construcción de los diagramas de relaciones y de Forrester.

De ésta manera, se podrán evaluar las adaptaciones de las tres fuentes de generación para las variaciones de la demanda, en función del tiempo, pudiendo determinar los mejores escenarios, junto con sus fortalezas y debilidades.

3. CENTRALES DE GENERACION

Una central generadora de energía se trata de una instalación que tiene como función transformar energía potencial en trabajo.

Las centrales eléctricas son las diferentes plantas encargadas de la producción de energía eléctrica y se sitúan, generalmente, en las cercanías de fuentes de energía básicas (ríos, yacimientos de carbón, etc.). También pueden ubicarse próximas a las grandes ciudades y zonas industriales, donde el consumo de energía es elevado.

Los diferentes tipos de centrales eléctricas dependen de las distintas materias primas empleadas para obtener la energía eléctrica. Se diferencian en la energía potencial primaria que origina la transformación.

En función a la participación relativa de las principales fuentes de generación que componen

la matriz energética de la Argentina, se desarrollarán los conceptos principales relativos a:

- Centrales Hidroeléctricas
- Centrales Nucleares
- Centrales Térmicas

4. INTEGRACION DE LOS MODULOS

La integración de los módulos permite realizar una evaluación de una Matriz Energética. Para ello se debe conocer:

- La composición de la Matriz Energética Actual (respecto de los tipos de fuentes de generación y su participación total).
- Las fuentes de generación a utilizar para nuevas instalaciones (de acuerdo a políticas de generación, historia, innovaciones, etc.)
- El comportamiento de la Demanda.

Los criterios de decisión a considerar en el comportamiento del modelo (pueden existir factores de decisión para situaciones particulares, o respecto a fuentes específicas de generación).

Se debe conocer los tiempos de construcción, vida útil y limitaciones de Potencia Instalada para las centrales de generación, respecto de las diferentes fuentes de generación.

Existen diversos parámetros (a nivel secundario) que se requieren ingresar como parámetros en el modelo y obtener resultados más precisos del comportamiento.

5. OBJETIVOS OPERATIVOS

Como se ha mencionado anteriormente, el objetivo del modelo es modelar el comportamiento de la Matriz Energética de la Argentina, mediante la comprensión y representación de la estructura que compone a la Matriz, para poder someterla a diferentes escenarios para evaluar la aptitud de las fuentes de generación que hoy la componen.

Los resultados dependen de la cantidad y calidad de la información disponible. El modelo se encuentra construido para poder ofrecer información importante con pocos parámetros. También permite la estimación de los parámetros, así como la variación de los mismos para evaluar las variables más sensibles al comportamiento.

Cuánta más información se obtenga y en mayor detalle, mayor precisión podrá ofrecer el modelo en sus resultados.

Los indicadores principales del modelo son:

- Evolución de la Potencia Instalada.
- Evolución de los niveles de Importación.
- Evolución de la Exportación Potencial.
- Eficiencia de las diferentes fuentes de generación en nuevos escenarios de la Matriz Energética.

Con ésta información, se pueden desarrollar políticas tanto locales como nacionales para la generación de energía eléctrica, realizar una evaluación de los mejores y peores escenarios en función de los parámetros ingresados al modelo, permitiendo el planeo de estrategias a largo plazo y una correcta planificación de las inversiones a realizar.

6. CONSTRUCCION DEL MODELO

El modelo de energía integra aquellas variables que influyen directamente en el comportamiento del crecimiento y decrecimiento de la Matriz Energética. Principalmente definido por tres de ellas:

- Potencia Instalada
- Demanda
- Importación de Energía

La Potencia Instalada (en función a su eficiencia de generación) define el volumen neto de energía eléctrica para satisfacer la demanda del mercado.

La Demanda, define si la generación neta es suficiente, o si se requiere importar energía eléctrica. Así, la Importación de Energía equivale a que la matriz energética se encuentra saturada, por lo que se deben construir centrales para aumentar su capacidad de generación.

Estas variables por sí mismas no permiten realizar un análisis claro, por lo que se deben complementar con una gran cantidad de información.

Debido a la extensión y complejidad de las relaciones entre las variables, el modelo ha sido dividido (a modo conceptual) en 7 módulos diferentes:

- Módulo de Evaluación
- Módulo de Decisión
- 1. Módulo de Construcción

2. Módulo de Centrales Nuevas
3. Módulo de Matriz
4. Módulo de Mercado
5. Módulo de Demanda

La explicación de cada módulo consisten en:

1. Objetivos generales del módulo.
2. Diagrama Causal (en Vensim PLE)
3. Diagrama de Forrester (en Vensim PLE)
4. Listado de Variables
5. Operación del módulo

Para la comprensión del punto 5 (Operación del Módulo) se recomienda observar cuidadosamente el diagrama de Forrester y comprender las funciones de cada variable en el módulo.

- Módulo de Evaluación

Tiene el objetivo de definir los parámetros principales de las nuevas centrales de generación a construir durante la simulación, así como también determinar el volumen de potencia instalada requerido.

- Módulo de Decisión

Tiene el objetivo de establecer en qué momentos se debe construir una nueva central de generación.

- Módulo de Construcción

Representa el tiempo que transcurre desde la toma de decisión de la construcción de la nueva central de generación, hasta que la misma se encuentra disponible de poner en operación y ser integrada a la matriz de generación.

- Módulo de Centrales Nuevas

Representa a la lógica funcional que permite almacenar la información de potencia instalada y vida útil de las nuevas centrales de generación.

- Módulo de Matriz

Representa la composición de la matriz de generación, compuesta por las tres principales fuentes (Hidroeléctrica, Nuclear y Térmica). En éste módulo es donde se incrementa la potencia instalada por generación, así como se reduce en función de la vida útil de las centrales.

- Módulo de Mercado

Este módulo constituye el núcleo del modelo, en él se define la relación entre la demanda (interna y externa) y la generación e importación de energía.

Aquí es donde las variables principales se relacionan para definir el comportamiento del modelo.

- Módulo de Demanda

Tiene el objetivo de reflejar el comportamiento de la demanda de energía eléctrica. La frontera del trabajo no incluye el análisis del comportamiento de la demanda, sin embargo se requiere de una simplificación de su comportamiento para que el modelo pueda funcionar).

7. MODULO DE EVALUACION

Este módulo permite la determinación del nivel de potencia instalada que requiere la matriz energética. Para ello primero se deben definir los parámetros respectivos a la fuente de generación elegida (para construcción de nuevas centrales de generación):

- Vida útil
- Límite de Potencia Instalada para construir
- Tiempo de construcción de central
- Costo/MWatt

A su vez, existen dos criterios en la determinación de la Potencia Instalada que se requiere construir: En función de la demanda no satisfecha por generación propia.

En función a las centrales de generación que cumplan con su ciclo de vida.

La demanda no satisfecha por generación propia puede ser entendida como el volumen de energía eléctrica que se requiere importar. Además, debido a que la demanda tiene un comportamiento estacional, se debe considerar que se tiene un nivel de importación aceptado (definido de acuerdo a estrategias o políticas de generación). Cuando la importación supere dicho límite, se requiere determinar la potencia instalada que hace falta para llevar a la importación de energía por debajo de éste. Siendo la importación y su respectivo límite, el indicador principal de la eficiencia de la Matriz Energética.

Para las centrales de generación que cumplen con su ciclo de vida, se debe tener en cuenta el tiempo de construcción de una nueva central (de acuerdo a la fuente elegida). Este tiempo será la velocidad de respuesta ante los requerimientos de Potencia Instalada a construir/reponer en la Matriz. Siendo este tiempo, el horizonte a futuro en el cual se

controla a las centrales, identificando aquellas que cumplan con su vida útil.

En el Anexo – Figura 5 se puede apreciar la estructura del Módulo de Evaluación.

8. MODULO DE DECISION

Este módulo define los criterios para la toma de decisión de construcción de nuevas centrales de generación.

Principalmente existen tres criterios para la toma de decisión:

- Cuando se importa energía por encima del límite de importación aceptado.
- Cuando la matriz energética se está utilizando por encima de su factor de utilización límite.
- Cuando en un horizonte (como el mencionado en el módulo anterior), una o más centrales cumplan con su ciclo de vida útil.

Contemplando éstos escenarios, este módulo permite representar la necesidad que posee la matriz en aumentar su potencia instalada mediante la construcción de nuevas centrales de generación. Para ello es muy importante reconocer la relación directa que posee el criterio de decisión con el comportamiento de la Demanda. Esto último se desarrollará en más detalle durante la explicación del Módulo de Demanda.

Debido a que la demanda tiene un comportamiento estacionario, siendo, en función a datos históricos, el mes de julio el más demandante, se define al mes de julio de cada año de simulación, como el mes en donde se evalúa la necesidad de construir centrales de generación.

En el Anexo – Figura 6 se puede apreciar la estructura del Módulo de Decisión.

9. MODULO DE CONSTRUCCION

Este modulo se encarga de la construcción e incorporación de las nuevas centrales de generación, contemplando el tiempo en que se construye la nueva central (desde que se toma la decisión en el Módulo de Decisión, hasta que la potencia instalada de la nueva central se puede incorporar al Módulo de Matriz). Esto involucra:

- Los rangos de Potencia Instalada a construir por central.

- El tiempo que transcurre desde que el módulo de decisión emite su orden, hasta que la central se encuentra operativa para integrarse a la Matriz Energética.
- Estimación de Costos/MW durante el transcurso de la simulación.

En el Anexo – Figura 7 se puede apreciar la estructura del Módulo de Construcción.

10. MODULO DE NUEVAS CENTRALES

Este módulo tiene como objetivo el almacenamiento de la potencia instalada y el año de finalización de la vida útil de las nuevas centrales de generación que se construyan durante la simulación.

Debido a la extensión de la lógica funcional requerida para realizar el almacenamiento de la información por central, y, de acuerdo a los períodos de simulación relevados, se preparó al módulo para almacenar la información hasta 10 centrales. Por tal extensión, la misma se ha representado en el diagrama causal como una variable auxiliar, sin embargo, a continuación se puede apreciar la complejidad del módulo en el diagrama de Forrester.

Esto permite, mediante una vinculación al Módulo de Matriz, que se pueda representar, además de las pérdidas de potencia instalada de centrales de generación ya existentes (por cumplimiento de su vida útil), las pérdidas de potencia instalada de centrales de generación que se hayan construido durante la simulación. Su objetivo principal es permitir que el modelo refleje de manera fiel la realidad de los escenarios.

En el Anexo – Figura 8 y 9 se pueden apreciar la estructura del Módulo de Nuevas Centrales.

11. MODULO DE MATRIZ

Este módulo corresponde al estado actual de la Matriz de Generación. En él se encuentran las potencias instaladas totales de las tres fuentes de generación principales:

- Hidroeléctrica
- Nuclear
- Térmica

La potencia instalada de cada fuente crece y decrece en relación a las nuevas centrales de generación y al cumplimiento de los ciclos de vida útil de las mismas.

La vinculación con el Módulo de Construcción, permite la incorporación de la potencia instalada de las nuevas centrales a la matriz total.

De acuerdo a la fuente de generación seleccionada en el Módulo de Evaluación, se libera el flujo de potencia instalada a incorporarse a su respectiva fuente.

El modelo trabaja bajo el supuesto de que se disponen del 100% de las materias primas requeridas para todas las centrales. El modelo no supone agotamiento de ellas, ya que la disponibilidad de las mismas depende de un aspecto estratégico (indistintamente de que se encuentren disponibles en el país o que se deban importar).

En el Anexo – Figura 10 se puede apreciar la estructura del Módulo de Matriz.

12. MODULO DE MERCADO

Este módulo es aquel en que se llevan a cabo los balances de energía entre la Demanda del país, la Generación, la Importación y la Exportación.

Para comprender la operación de éste módulo es necesario desarrollar las variables mencionadas:

Demanda: son los niveles de demanda (mensuales) que se le exigirán a la Matriz Energética para satisfacer. (La Demanda es el resultado del Módulo de Demanda).

Demanda Externa Regulada: Corresponde a las exportaciones de energía eléctrica que son regulados, en base a políticas de exportación.

Generación: es la máxima generación que puede proveer la Matriz Energética para satisfacer a la Demanda. La misma depende de la Potencia Instalada Efectiva.

Potencia Instalada Efectiva: es la potencia instalada respectiva a las tres fuentes de generación, afectadas por su factor de eficiencia.

Importación: es la diferencia entre la Demanda y la Exportación, respecto de la Generación disponible. (Se parte del supuesto de que todo lo que la Matriz Energética no pueda satisfacer, deberá ser importado, es por ello que éste se convierte en un factor de decisión para creación de nuevas instalaciones).

Generación Disponible: es la capacidad residual de la Matriz Energética que podría ser utilizada para consumos internos y/o exportación.

Las relaciones entre la Demanda, la Generación, la Exportación y la Importación se llevan a cabo en una variable denominada Consumo que actúa como regulador entre ellas. Debido a que la energía eléctrica no se puede almacenar, la variable consumo se encuentra siempre en cero. Esto quiere decir que los volúmenes de energía respectivos a la Demanda y la Exportación deben ser satisfechos por la Generación de la Matriz, siendo la Importación la diferencia entre la Generación, la Demanda y la Exportación.

En el Anexo – Figura 11 se puede apreciar la estructura del Módulo de Mercado.

13. MODULO DE DEMANDA

El modelo no se encuentra orientado a analizar el comportamiento de la Demanda, sólo busca comprender el comportamiento de la oferta (crecimiento y decrecimiento de la misma). Sin embargo, cómo se ha mencionado anteriormente, hay una estrecha relación entre la oferta y la demanda, ya que entre ambas definen el nivel de saturación y eficiencia de la Matriz Energética.

Por ello se han identificado aquellas variables principales que permiten representar el principal comportamiento de la Demanda. Ellas son:

Época del Año: de acuerdo a información histórica se puede comprobar que la demanda es estacionaria, por lo que dependiendo de la época del año, la demanda puede alcanzar los picos máximos y mínimos.

Incremento: todo crecimiento poblacional, se traduce en un incremento de la demanda energética. Por los valores históricos de la demanda se puede estimar una tasa de crecimiento de la misma.

Conociendo éstos factores se puede realizar una representación de la Demanda.

En el Anexo – Figura 12 se puede apreciar la estructura del Módulo de Demanda.

14. CASO BASE

La simulación del caso base consiste en el ensayo del modelo bajo la condición de que no se construyan nuevas centrales generación. Esto

permite la medición del comportamiento normal del modelo, principalmente sin incorporaciones de potencia instalada, para así medir la obsolescencia de la matriz respecto al aumento de la demanda.

16. ENSAYOS DE ESCENARIOS

Para el ensayo de escenarios se determinó analizar el comportamiento de la matriz de acuerdo a una política estricta de construcción de centrales de una sola fuente de generación. De ésta manera se podrán relevar las bondades y defectos de la aplicación de cada una de las fuentes, bien sea por sus adaptaciones a la demanda, costos, factores constructivos, etc.

Se realizaron los siguientes ensayos de escenarios:

- Con Construcción de Centrales Hidroeléctricas.
- Con Construcción de Centrales Nucleares.
- Con Construcción de Centrales Térmicas.

17. CONCLUSIONES

El comportamiento de la Matriz Energética puede ser modelado mediante los principios y las herramientas que ofrece la Dinámica de Sistemas. El modelo puede ser adaptado a los contextos de cada país, aunque en éste caso se haya construido para representar el comportamiento de la Matriz Energética de la República Argentina. Sin embargo los criterios de decisión, las fuentes de generación utilizadas, los métodos de evaluación de una Matriz, pueden diferir entre países por lo que el modelo permite adaptarlo cuando se requiera.

La extensión de este trabajo se remite al ensayo de escenarios y decisiones en tiempo real respecto de la incorporación de nuevas centrales de generación en la Matriz Energética actual de la Argentina, para así modelar su comportamiento en el tiempo y medir el impacto de cada uno de los escenarios planteados.

La aplicación de la Dinámica de Sistemas para realizar el análisis del comportamiento de la Matriz Energética, se basa en identificar las variables principales que componen al modelo e identificar y comprender las relaciones e impactos que ocurren entre ellas. La extensa etapa de investigación y definición de subsistemas ha permitido la división de los mismos. En total se han desarrollado 17 versiones del modelo, donde se ha evolucionado desde un sistema completo, a

subsistemas interrelacionados, llegando en las últimas versiones a la definición detallada de cada aspecto de cada uno de los subsistemas.

Este modelo supone un punto de partida para la concientización de los impactos que puede tener una determinada decisión en el futuro energético de un país. Tan sólo una decisión equivocada podrían llevar a una buena estrategia de desarrollo a un desastre energético. De aquí el motivo por el cual se considera que la aplicación de la Dinámica de Sistemas es una herramienta fundamental para comprender el impacto de las decisiones, resultado del desconocimiento de los impactos de las variables que intervienen.

En los casos analizados en éste proyecto, se ha buscado el objetivo de establecer las bondades y defectos de una estrategia de generación basada en una única fuente de generación a futuro. En la realidad, la estrategia energética del país debe sostenerse sobre las tres principales fuentes de generación, migrando o velando por un aumento de la participación de las fuentes de generación alternativas (solar, eólica, mareomotriz), las cuales no han alcanzado un nivel de desarrollo económicamente sustentable.

Analizando los resultados de los tres escenarios planteados se puede concluir:

- En los tres escenarios queda en evidencia la necesidad de realizar inversiones en centrales de generación eléctrica de manera anual, con el objetivo de recuperar la capacidad de generación (traducida en potencia instalada) de las centrales actuales que cumplen con su ciclo de vida, y con el objetivo de acompañar el crecimiento sostenido de la demanda del país.
- Al momento presente del análisis (comienzos del 2011), la matriz energética se encuentra saturada por encima del límite de utilización establecido como factor de seguridad (90%).
- Las necesidades de construcción de nuevas centrales y principal criterio de decisión, han sido los volúmenes de importación de energía eléctrica (los cuales se traducen como la ineficiencia de la matriz de generación).
- En la composición de potencia instalada bruta (por fuente de generación) de la matriz energética resulta de vital importancia establecer/definir los factores de eficiencia, para poder determinar la potencia instalada

efectiva de la cual se dispone para la generación de energía eléctrica.

- Cada central de generación (en función a su fuente) poseen diferentes grados de adaptación al crecimiento de la demanda. Esta adaptación, se encuentra principalmente relacionada a la vida útil, el tiempo de construcción, la máxima potencia instalada a construir y factor de eficiencia.

A continuación se destacan los aspectos más relevantes de los tres escenarios planteados:

Escenario #1 – Construcción de nuevas centrales de generación Hidroeléctricas

Este escenario se destaca por una estrategia centrada en la construcción de centrales Hidroeléctricas. Mediante el ensayo se ha verificado que las centrales Hidroeléctricas permiten una buena adaptación al crecimiento de la demanda de energía eléctrica.

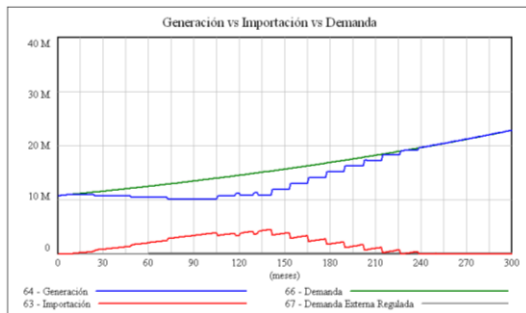


Figura 2: Caso 1 - Generación Vs. Importación Vs. Demandas (Interna y Externa)

Sus principales ventajas son sus altos ciclos de vida útil y alto volumen de potencia instalada a construir. En cuanto a sus desventajas se puede identificar un alto costo de inversiones iniciales para la construcción de las mismas (que a los 25 años asciende a 87 Billones de U\$s). Se deben contemplar además una variable que ha quedado exenta en la simulación (por su dificultad para ser parametrizada), la cual es el espacio disponible para la construcción de embalses y centrales hidroeléctricas. Esta variable no sólo determina la cantidad de centrales que se podrán construir, además determinan el volumen de potencia instalada que tendrá cada central.

Escenario #2 – Construcción de nuevas centrales de generación Nucleares

Este escenario se destaca por una estrategia centrada en la construcción de centrales

Nucleares. Mediante el ensayo se ha verificado que las centrales Nucleares no permiten una buena adaptación al crecimiento de la demanda de energía eléctrica. Como se puede apreciar en la figura 3, sólo se alcanza a satisfacer el 66% de la demanda.

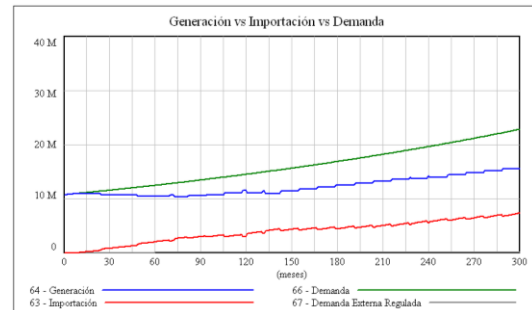


Figura 3: Caso 2 - Generación Vs. Importación Vs. Demandas (Interna y Externa)

Su principal ventaja se centra en que no requiere el uso de combustible fósiles como en el caso de las centrales térmicas. Mientras que su desventaja se centra en los requerimientos de seguridad y localización se que deben cumplir para su construcción.

Escenario #3 – Construcción de nuevas centrales de generación Térmicas

Este escenario se destaca por una estrategia centrada en la construcción de centrales Térmicas. Mediante el ensayo se ha verificado que las centrales Térmicas no logran una adaptación efectiva al crecimiento de la demanda de energía eléctrica. Como se puede apreciar en la figura 4, se alcanza a satisfacer el 88% de la demanda.

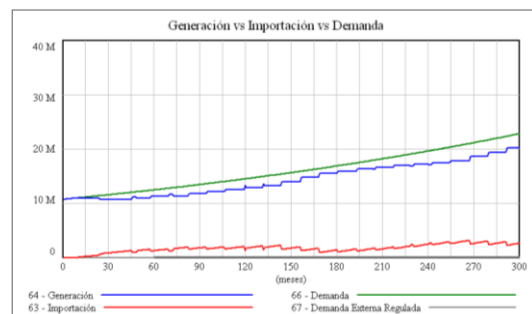


Figura 4: Caso 3 - Generación Vs. Importación Vs. Demandas (Interna y Externa)

Su principal ventaja se centra en su construcción relativamente rápida respecto de las otras centrales. Su desventaja radica principalmente en la baja de eficiencia que pueden tener estas centrales cuando no se traten de ciclo combinado, además de un factor estratégico relacionado con el costo de la materia prima y su disponibilidad. En la actualidad ésta clase de centrales ocupan

aproximadamente el 50 o 60% de la matriz energética del país, un cambio a otras fuentes de generación se pueden traducir en un ahorro de recursos que permita una explotación de los mismos de manera sustentable en el tiempo.

En conclusión, una política para el desarrollo de la matriz energética de la Argentina requiere de una combinación de las tres fuentes de generación principales. Siendo las centrales térmicas aquellas que poseen un mayor impacto al corto plazo (disponibles en función de los costos y disponibilidad de la materia prima requerida), las centrales nucleares para impactos en el mediano plazo y siendo las centrales hidroeléctricas aquellas que poseen una mayor impacto en el largo plazo. Tomando en cuenta lo mencionado, se debe desarrollar un plan de inversiones anuales que aseguren un desarrollo sostenido, mediante la construcción de centrales de generación, evitando el impacto de los delay de tiempo entre el inicio de la construcción de la central y la incorporación de la misma en la matriz. Como medida para minimizar los impactos sobre la matriz ocasionados por la obsolescencia de centrales que cumplan con su ciclo de vida útil, se deberá implementar un plan de inversiones para reacondicionar las instalaciones de cada central para prolongar su ciclo de vida y lograr un mayor impacto de las incorporaciones de nuevas centrales (partiendo de una base que el costo del reacondicionamiento debe ser menor al costo de una central nueva). Por último es necesaria la inversión en investigación y desarrollo para mejorar el factor de eficiencia respectivo a cada fuente de generación, mejorando el rendimiento global de la matriz energética, y para el desarrollo económicamente sustentable de las fuentes de generación alternativas para que ocupen un mayor peso relativo.

[4] ATEERA (Asociación de Transportistas de Energía Eléctrica de la República Argentina). <http://www.ateera.org.ar/>

[5] ADEERA (Asociación de Distribuidores de Energía Eléctrica de la República Argentina). <http://www.adeera.org.ar/>

[6] ENRE (Ente Nacional Regulador de la Electricidad). <http://www.enre.gov.ar/>

[7] ENARSA (Energía Argentina S.A.). <http://www.enarsa.com.ar/index.php/es/>

[8] CNEA (Comisión Nacional de Energía Atómica). <http://www.cnea.gov.ar/>

18. BIBLIOGRAFIA

[1] Fundelec (Fundación para el Desarrollo Eléctrico). <http://www.fundelec.org.ar>

[2] AGEERA (Asociación de Generadores de Energía Eléctrica de la República Argentina). <http://www.ageera.com.ar>

[3] Cammesa (Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico). <http://portalweb.cammesa.com/default.aspx>

19. ANEXOS

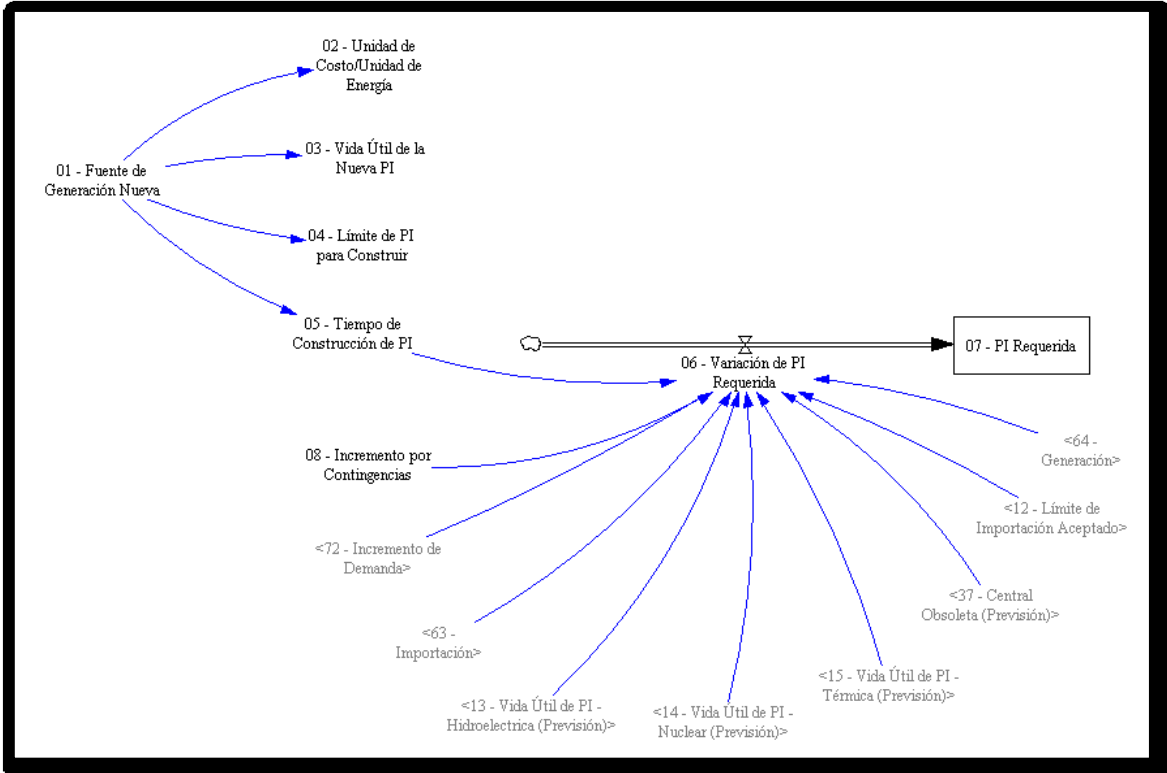


Figura 5: Módulo de Evaluación

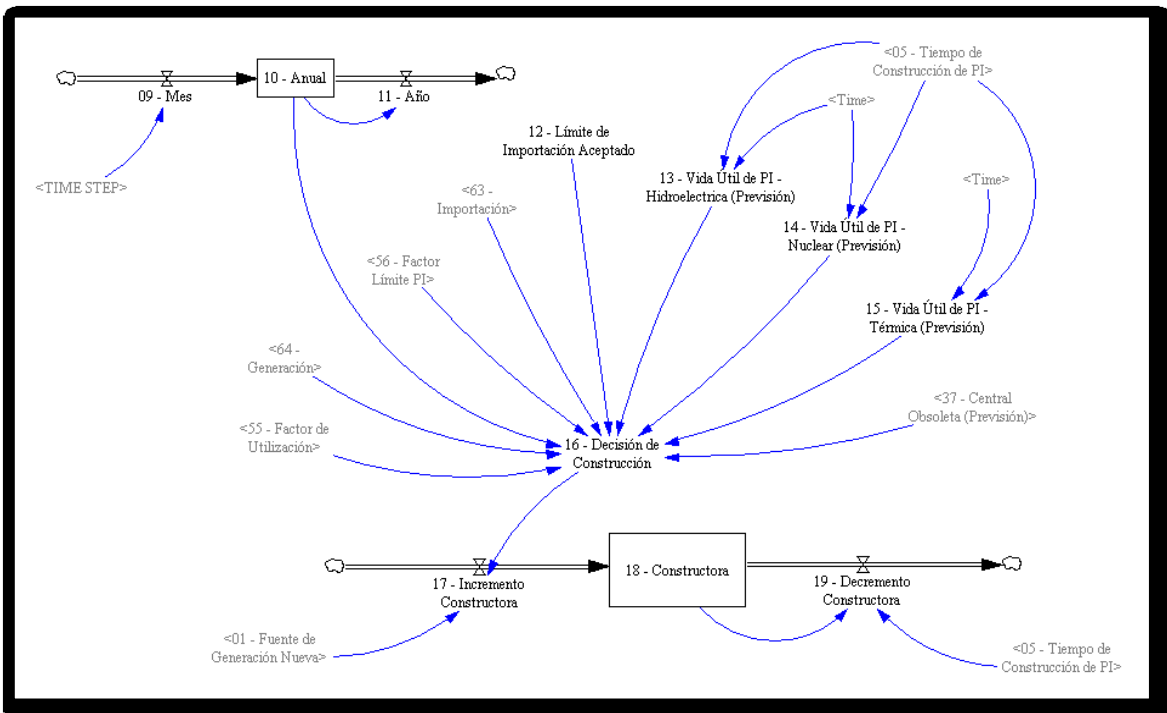


Figura 6: Módulo de Decisión

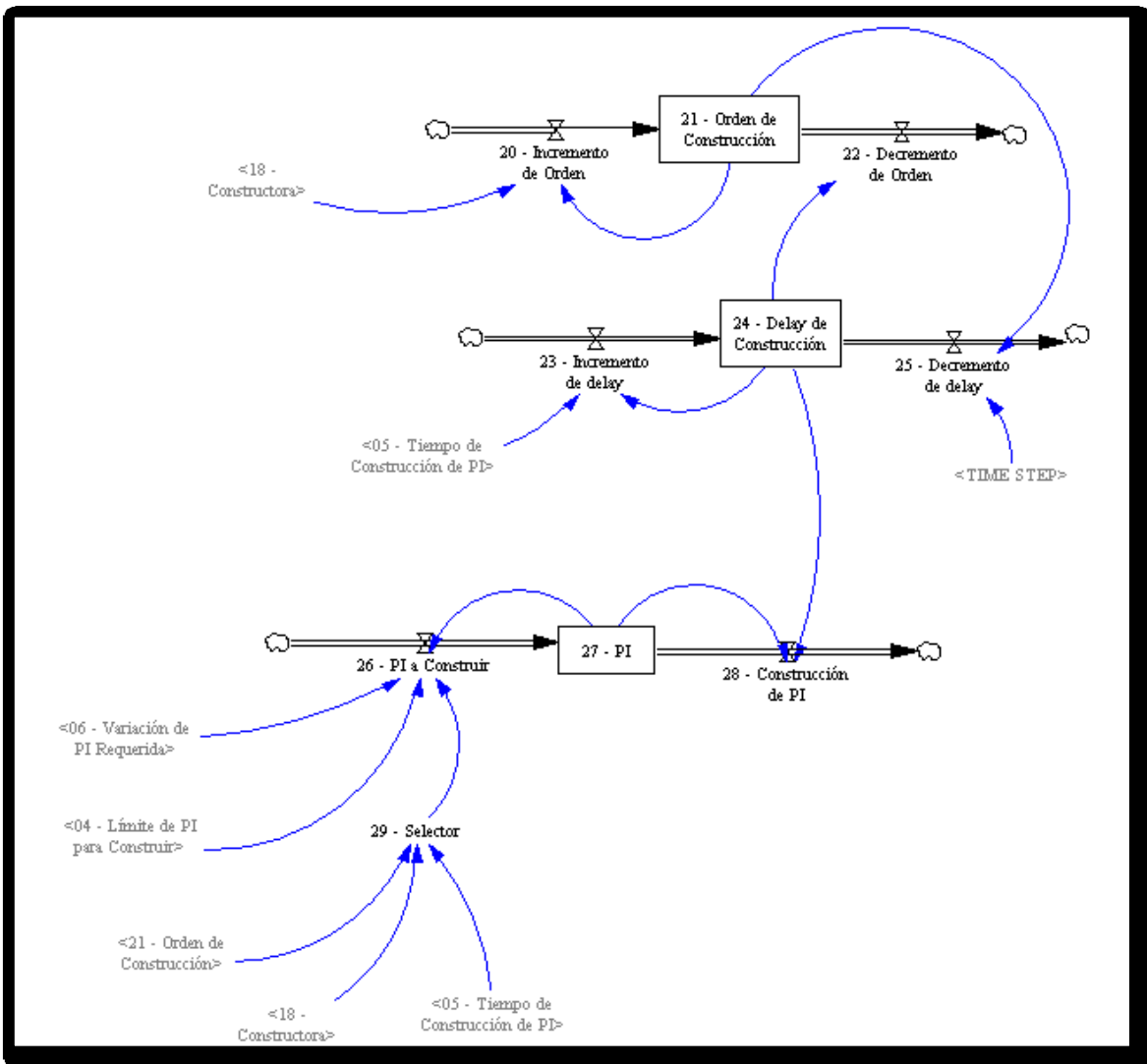


Figura 7: Modulo de Construcción

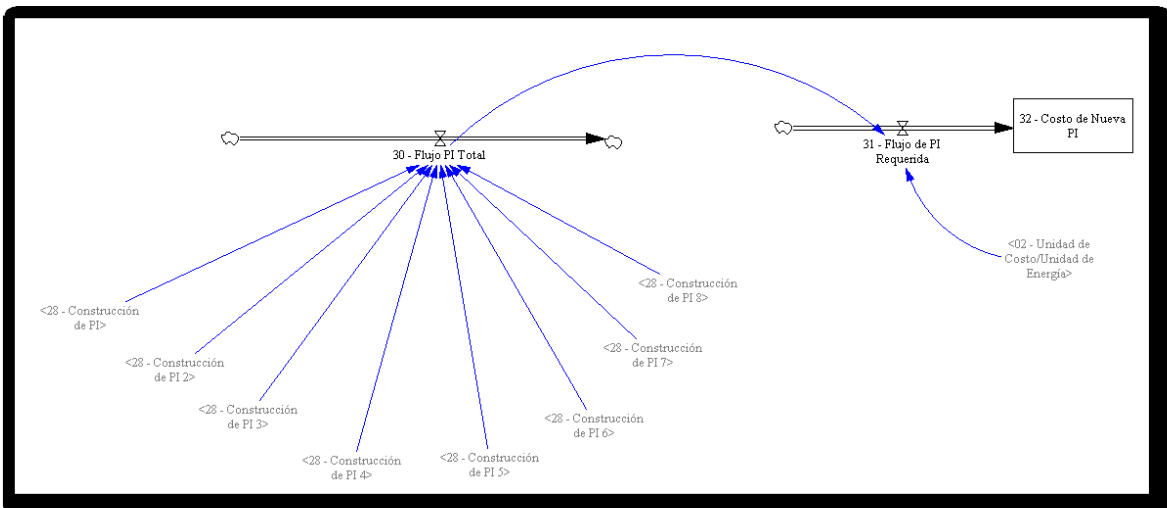


Figura 8: Modulo de Nuevas Centrales

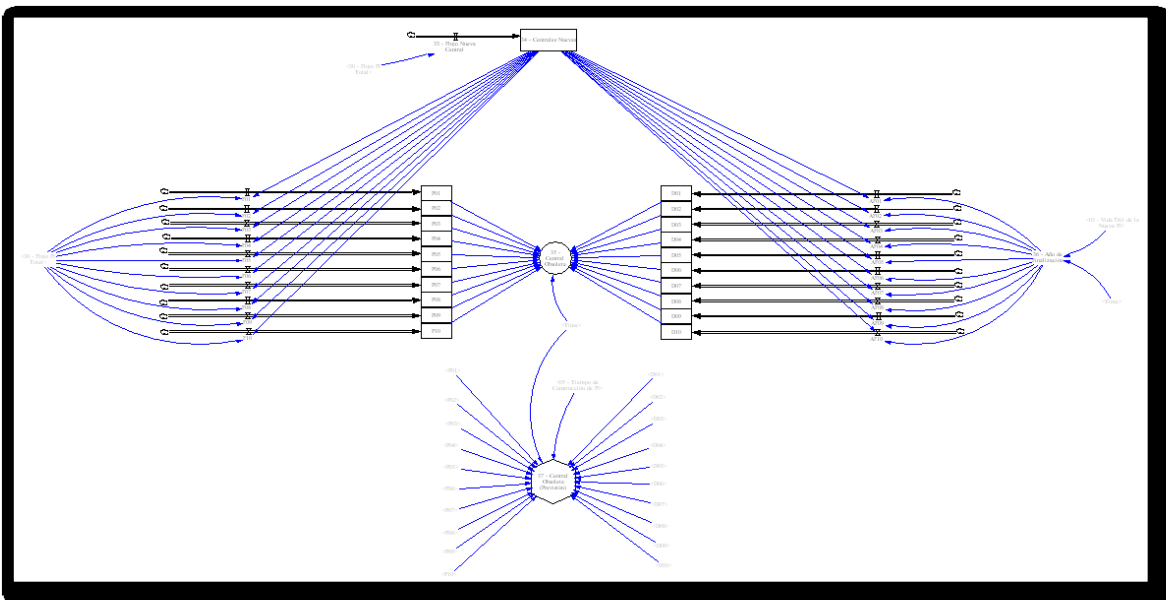


Figura 9: Modulo de Nuevas Centrales

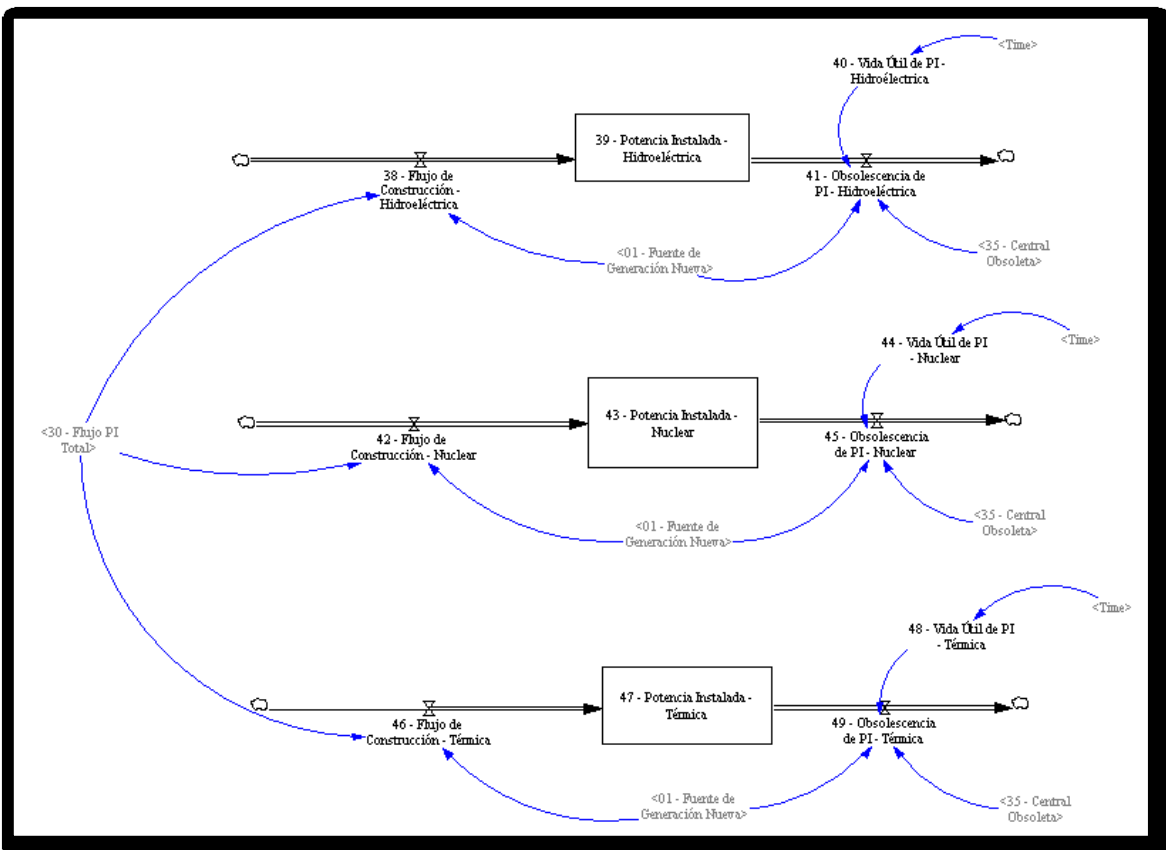


Figura 10: Modulo de Matriz

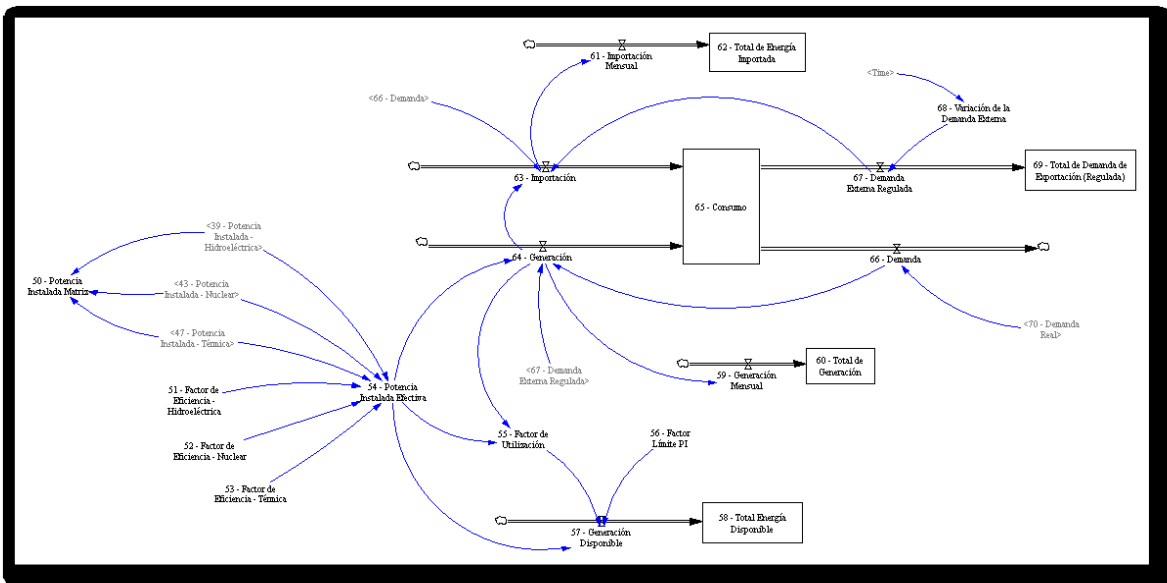


Figura 11: Modulo de Mercado

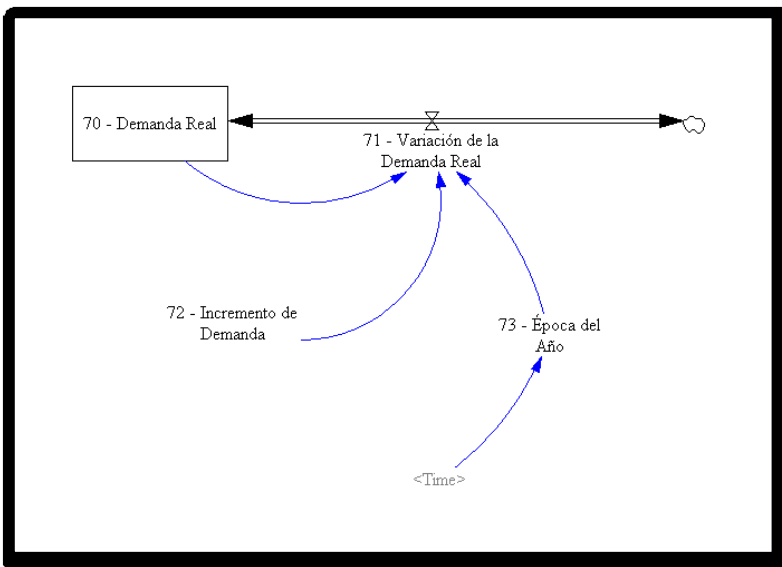


Figura 12: Modulo de Demanda



www.dinamica-de-sistemas.com

Libros

Cursos Online



[Ejercicios](#)



[Curso Básico Intensivo en Dinámica de Sistemas](#)



[Avanzado](#)



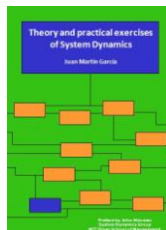
[Curso Superior en creación de modelos de simulación](#)



[Conceptos](#)



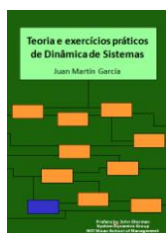
[Modelos de simulación en ecología y medioambiente](#)



[English](#)



[Planificación de empresas con modelos de simulación](#)



[Português](#)



[System Thinking aplicado al Project Management](#)