

# REVISTA DE DINAMICA DE SISTEMAS

## Dinámica del balance energético de Ecuador

**Holger Raúl Barriga Medina**

hbarriga@espol.edu.ec

*Facultad de*  
**Ciencias Sociales  
y Humanísticas**



<http://www.dinamica-de-sistemas.com/>

Vensim <http://www.atc-innova.com/>



## TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCION .....	3
2.	OBJETIVO.....	4
3.	DESCRIPCION DEL SISTEMA .....	5
4.	DIAGRAMA VENSIM.....	7
5.	RESULTADOS .....	10
6.	CONCLUSIONES .....	13

## 1. INTRODUCCION

La energía es un recurso estratégico a nivel mundial y constituye uno de los motores de desarrollo de los países, por lo cual su planificación y gestión es importante para satisfacer la demanda de cada país. Dentro de la cadena energética todos los países cuentan con fuentes primarias y secundarias de energía, las primeras se pueden aprovechar de manera directa pero en general es necesario transformarlas en energía secundaria, es decir que la energía secundaria es obtenida a partir de la energía primaria. Dentro de las energías primarias están la energía solar, la energía geotérmica, el petróleo, el gas natural, el carbón, la energía hidráulica, y otras mas. Dentro de las energías secundarias podemos mencionar principalmente a la energía eléctrica y los combustibles como la gasolina, el diésel y el alcohol. La energía secundaria es la que usan los distintos tipos de sectores de consumo en cada país, como son el transporte, la industria, el sector comercial, el sector residencial, etc.

En el caso particular del Ecuador de acuerdo a la información del Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos existen las siguientes fuentes de energía primaria:

- a) Energía Eólica
- b) Energía Solar
- c) Energía de Caña
- d) Energía de Leña
- e) Energía Hidráulica
- f) Energía del Gas Natural
- g) Energía del Petróleo

De acuerdo con la misma fuente de información, en cuanto a las fuentes de energía secundaria existen las siguientes:

- a) Energía Eléctrica
- b) Derivados de Petróleo (diversos combustibles)

En cuanto a los sectores de consumo que se han identificado, se tienen los siguientes:

- a) Transporte
- b) Industria
- c) Residencial
- d) Comercial y Servicio Público
- e) Agricultura, Pesca y Minería
- f) Construcción y Otros
- g) Autoconsumo
- h) No energético

Los mencionados sectores de consumo representan la demanda de energía del Ecuador, la cual crece sostenidamente cada año. Un hecho importante en el caso de Ecuador, es que se están construyendo varios proyectos hidroeléctricos que van a entrar en operación entre el 2014 y el 2017; paralelamente también se está promoviendo en el sector residencial el cambio de cocinas de gas por cocinas eléctricas de inducción, lo cual se viene fomentando desde el año 2014 con incentivos y financiamiento por parte del gobierno ecuatoriano

## **2. OBJETIVO**

El objetivo de analizar el sistema energético del Ecuador usando la Dinámica de Sistemas, es el de simular bajo un conjunto de supuestos un escenario de crecimiento de la demanda de energía secundaria en el sector residencial promovido por el uso presente y futuro de las cocinas eléctricas de inducción y por otra parte ver como ésta demanda puede ser satisfecha con una mayor generación de energía eléctrica a partir de la puesta en marcha de los proyectos hidroeléctricos.

Si existiese un excedente de energía resultante de la diferencia entre la generación hidroeléctrica y la demanda de energía, este pudiese ser aprovechado como un recurso exportable, pues el país cuenta con líneas de interconexión en alta tensión con los países vecinos de Colombia y Perú.

### **3. DESCRIPCION DEL SISTEMA**

Para poder hacer la simulación se parte del sistema de balance energético del Ecuador que se muestra en la Figura 1 del presente documento. El sistema corresponde al año 2014 tomando como año base el año 2013. En este sistema aparecen del lado izquierdo las fuentes de energía primaria y del lado derecho los sectores de consumo que utilizan la energía secundaria que es transformada mediante procesos o industrias como:

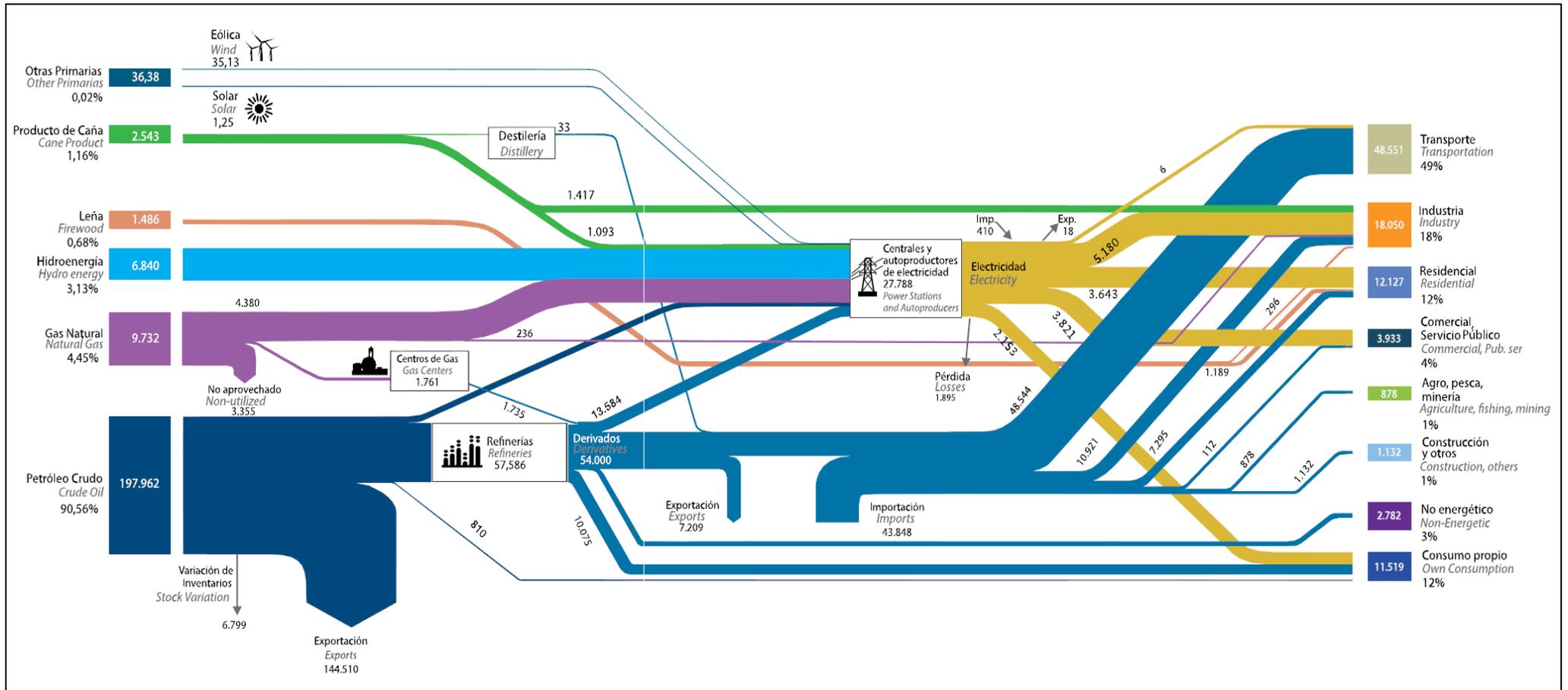
- a) destilerías de alcohol
- b) refinerías de petróleo
- c) centrales y autoprodutores de electricidad
- d) centros de gas

En cada uno de estos centros de transformación se utilizan en la entrada varios tipos de energía primaria y se obtienen en la salida diferentes tipos de energía secundaria como combustibles y energía eléctrica. En cada proceso también se generan pérdidas, que son contabilizadas, por lo cual hay una tasa de rendimiento para cada tipo de proceso, según la fuente de energía primaria usada en el proceso de transformación.

Las unidades de medición de la energía primaria y secundaria son miles de barriles equivalentes de petróleo (kBEP), los cuales aparecen descritos en el sistema de balance energético. Además el sistema mostrado es un sistema en equilibrio, por lo cual uno de los supuestos a partir de los cuales se puede hacer la simulación es precisamente que el modelo en el año 2013 está en equilibrio y a partir de ahí se van a producir cambios en la generación y demanda de energía.

**Figura 1**

**Balance Nacional de Energía del Ecuador 2014 (año base 2013)**



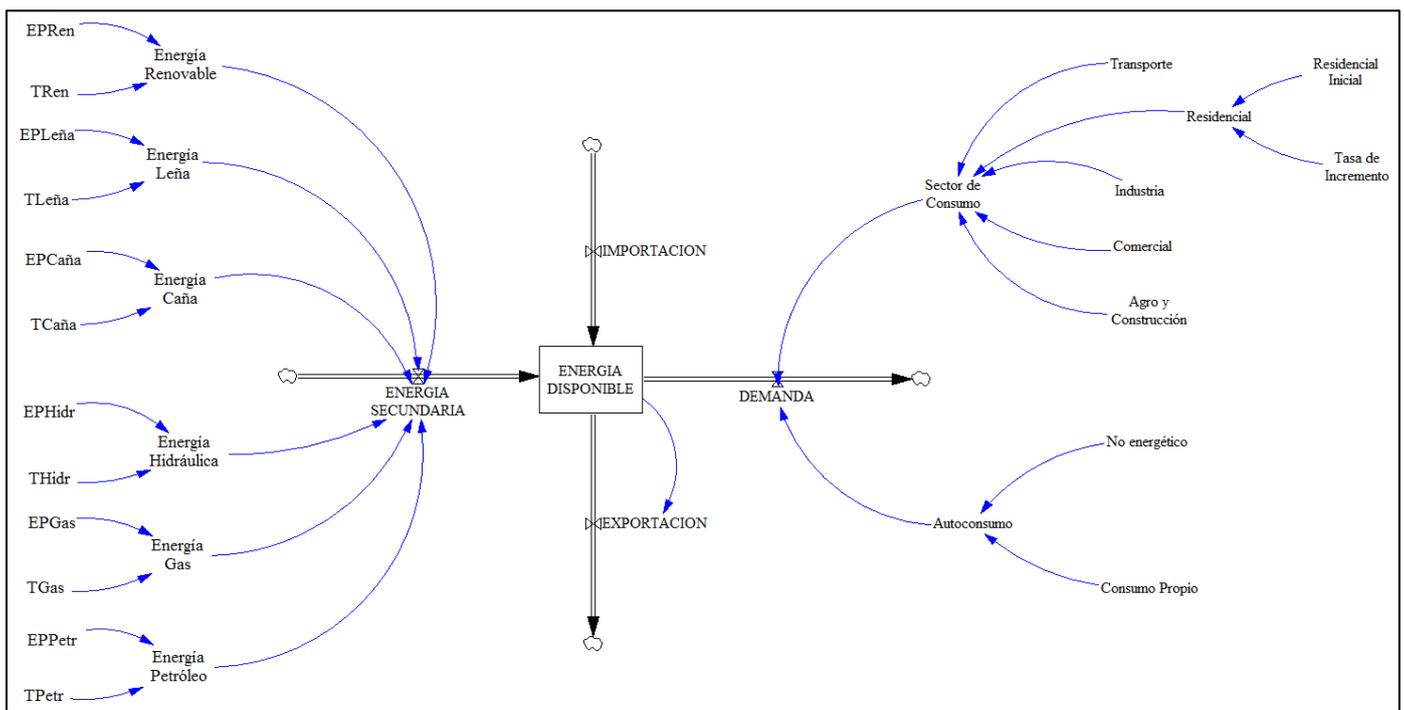
**Fuente: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos del Ecuador**

## 4. DIAGRAMA VENSIM

El diagrama Vensim simplificado para representar el sistema energético del Ecuador y realizar la simulación propuesta se encuentra en la Figura 2, la cual se muestra a continuación:

**Figura 2**

**Diagrama Vensim simplificado de Balance Energético del Ecuador**



**Fuente: Elaboración Propia**

En este diagrama se han introducido las variables, las cuales han sido conectadas y configuradas para poder desarrollar la simulación correspondiente. En el lado izquierdo del diagrama se encuentran las fuentes de energía primaria con su respectiva tasa de conversión de energía, que permite transformar la energía primaria en energía secundaria. Por ejemplo en el caso de:

THidr : representa la tasa de conversión de energía hidráulica en energía secundaria como energía eléctrica.

EPHidr: representa el valor inicial de la energía primaria usada en el sistema en el año 2013.

En el lado derecho se tienen las demandas de los diferentes sectores de consumo, en particular para el caso del sector residencial:

Residencial Inicial: representa el valor inicial de la demanda en el sector residencial (año 2013) junto con el incremento anual dado por una función tipo rampa

Tasa de incremento: representa la tasa de incremento normal de la demanda en el sector residencial.

En cuanto a la DEMANDA, está compuesta por el sector de consumo que tiene 5 componentes: Transporte, Industria, Residencial, Comercial, Agro y Construcción y el sector de autoconsumo que tiene dos componentes: autoconsumo y no energético.

En cuanto a los niveles, la ENERGIA DISPONIBLE es el resultado de la diferencia entre la suma de (ENERGIA SECUNDARIA + IMPORTACION) y la suma de (DEMANDA + EXPORTACION). El detalle correspondiente a cada uno de los componentes del diagrama es el siguiente:

- (01) Agro y Construcción= 2010  
Units: kBEP
- (02) Autoconsumo = Consumo Propio+No energético  
Units: kBEP
- (03) Comercial = 3933  
Units: kBEP
- (04) Consumo Propio = 11519  
Units: kBEP
- (05) DEMANDA = Autoconsumo + Sector de Consumo  
Units: kBEP
- (06) ENERGIA DISPONIBLE = ENERGIA SECUNDARIA+IMPORTACION-  
DEMANDA-EXPORTACION, 0)  
Units: kBEP
- (07) ENERGIA SECUNDARIA= Energía Caña + Energía Gas + Energía Hidráulica  
+Energía Petróleo + Energía Renovable + Energía Leña  
Units: kBEP
- (08) Energía Caña = TCaña\*EPCaña  
Units: kBEP
- (09) Energía Gas = TGas\*EPGas

Units: kBEP

- (10)  $\text{Energía Hidráulica} = T_{\text{Hidr}} * E_{\text{PHidr}}$   
Units: kBEP
- (11)  $\text{Energía Leña} = T_{\text{Leña}} * E_{\text{PLeña}}$   
Units: kBEP
- (12)  $\text{Energía Petróleo} = T_{\text{Petr}} * E_{\text{PPetr}}$   
Units: kBEP
- (13)  $\text{Energía Renovable} = T_{\text{Ren}} * E_{\text{PRen}}$   
Units: kBEP
- (14)  $E_{\text{PCaña}} = 2543$   
Units: kBEP/Year
- (15)  $E_{\text{PGas}} = 9732$   
Units: kBEP/Year
- (16)  $E_{\text{PHidr}} = 6840 + \text{RAMP}(3500, 2014, 2017)$   
Units: kBEP/Year
- (17)  $E_{\text{PLeña}} = 1486$   
Units: kBEP/Year
- (18)  $E_{\text{PPetr}} = 61358.1$   
Units: kBEP/Year
- (19)  $E_{\text{PRen}} = 36.38$   
Units: kBEP/Year
- (20)  $\text{EXPORTACION} = \text{ENERGIA DISPONIBLE}$   
Units: kBEP
- (21)  $\text{FINAL TIME} = 2018$   
Units: Year
- (22)  $\text{IMPORTACION} = 36339$   
Units: kBEP
- (23)  $\text{Industria} = 18050$   
Units: kBEP
- (24)  $\text{INITIAL TIME} = 2012$   
Units: Year
- (25)  $\text{No energético} = 2782$   
Units: kBEP
- (26)  $\text{Residencial} = \text{Residencial Inicial} * \text{Tasa de Incremento}$   
Units: kBEP
- (27)  $\text{Residencial Inicial} = 12127 + \text{RAMP}(1500, 2014, 2017)$

- Units: kBEP/Year
- (28) Sector de Consumo = Agro y Construcción + Comercial + Industria + Residencial + Transporte  
Units: kBEP
- (29) Tasa de Incremento = 1  
Units: Year
- (30) TCaña = 0.80363  
Units: Year
- (31) TGas = 0.44697  
Units: Year
- (32) THidr = 0.54313  
Units: Year
- (33) TIME STEP = 1  
Units: Year [0,?]
- (34) TLeña = 1  
Units: Year
- (35) TPetr = 0.8266  
Units: Year
- (36) Transporte = 48551  
Units: kBEP
- (37) TRen= 0.54313  
Units: Year

## 5. RESULTADOS

Para la simulación se consideran los siguientes supuestos:

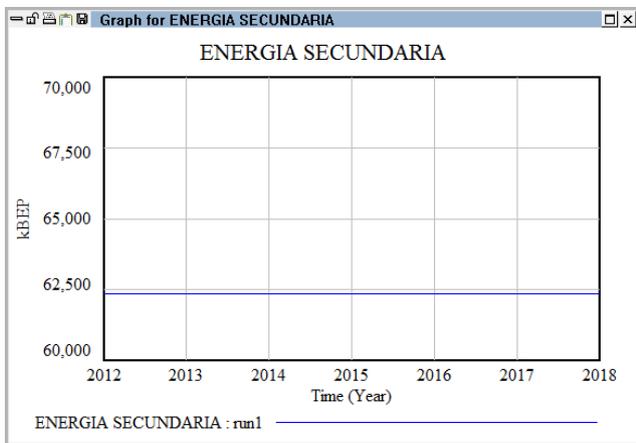
- 1) El sistema en el año 2013 está en equilibrio, es decir que la cantidad de energía secundaria producida es igual a la demanda requerida en dicho año
- 2) A partir del año 2014 se asume un incremento en la demanda del sector residencial provocada por el incremento en el uso de cocinas eléctricas de inducción, que reemplazarán a las cocinas de gas. Este incremento se ha proyectado con una función rampa según estimaciones oficiales
- 3) A partir del mismo año 2014 se asume un incremento en la generación de energía secundaria de origen hidráulico, provocada por la puesta en marcha de nuevas centrales hidroeléctricas. Se desconocen las fechas

exactas de la puesta en marcha de estos proyectos, pues dependen de la ejecución y presupuestos del Estado Ecuatoriano, por lo cual se asume también un incremento lineal usando una función tipo rampa para llegar al total de la energía proyectada en el 2017 según los planes de gobierno.

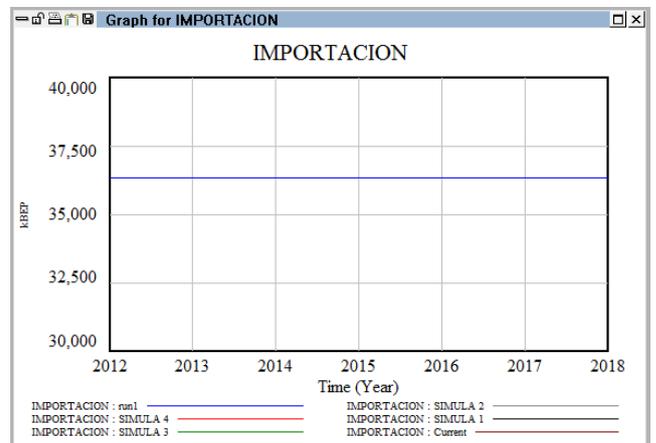
- 4) Se asume también que el sistema se equilibra cada año, es decir que entre la demanda de los diferentes sectores de consumo y la generación de otras fuentes de energía se produce un balance.

En base a los supuestos indicados se parte de la condición de equilibrio con la simulación (run1) donde se ven los valores iniciales de ENERGIA SECUNDARIA y de IMPORTACION que satisfacen la demanda, como se muestra en las siguientes figuras:

**Figura 3**  
**Energia Secundaria Inicial**

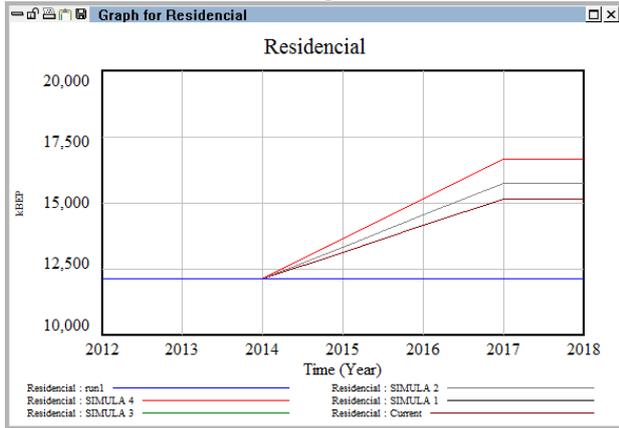


**Figura 4**  
**Importacion de Energía inicial**

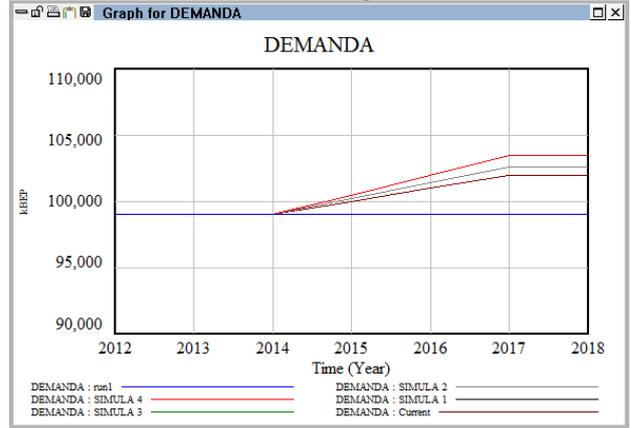


A partir de la condición de equilibrio, se simulan crecimientos de la demanda en el sector residencial con 4 condiciones (simula 1, 2, 3 y 4), los cuales se reflejan en la DEMANDA total de energía, como se muestran en las siguientes figuras 5 y 6. Así mismo se simula crecimiento en la generación de energía eléctrica a partir de la energía hidráulica, lo cual se muestra en la figura 7. De la combinación de los crecimientos tanto en el sector de consumo residencial como en el sector de generación de energía hidráulica, se tienen los balances de energía producidos, los cuales se muestran en las figura 8 que corresponde a la ENERGIA DISPONIBLE y la figura 9 que corresponde a la energía de EXPORTACION.

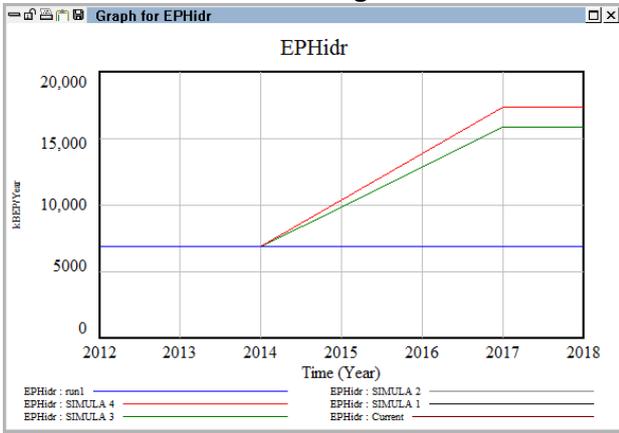
**Figura 5**  
**Demanda de energía Residencial**



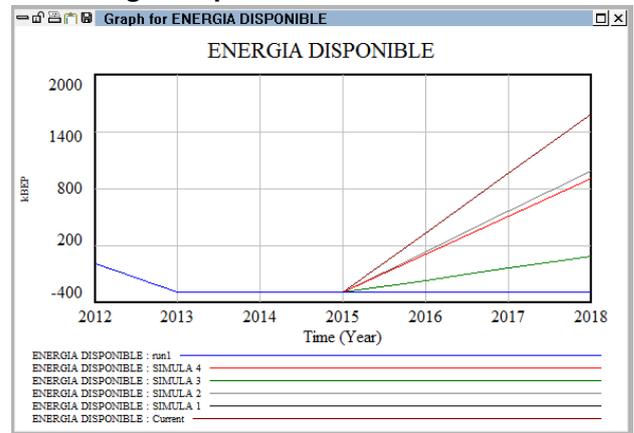
**Figura 6**  
**Demanda total de energía**



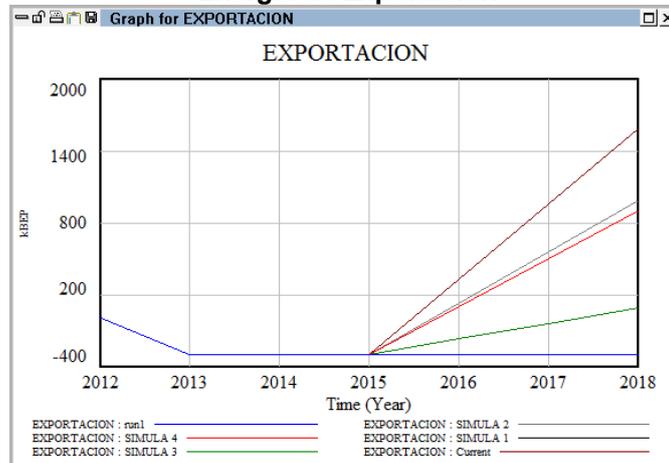
**Figura 7**  
**Generación de energía Hidráulica**



**Figura 8**  
**Energía Disponible**



**Figura 9**  
**Energía de Exportación**



## 6. CONCLUSIONES

De acuerdo con la simulación realizada podemos concluir lo siguiente:

- 1) En base al crecimiento en la demanda de energía del sector residencial bajo los supuestos indicados, la demanda total de energía se incrementa de modo tal que si no existiese crecimiento en el sector de generación de energía, sería necesario importar energía.
- 2) De acuerdo con la proyección de crecimiento en la producción de energía eléctrica a partir de la fuente primaria hidráulica, se presenta un excedente de energía a partir del año 2015 bajo diferentes estimaciones de crecimiento, por lo cual el país estaría en capacidad de exportar energía eléctrica después de satisfacer la demanda de energía eléctrica del sector residencial producida por el incremento de las cocinas eléctricas de inducción.
- 3) El modelo pudiese ser mejorado para clasificar la energía secundaria en energía eléctrica y en derivados de petróleo, además se puede considerar una simulación más compleja estimando un crecimiento porcentual anual de las otras fuentes de energía, así como un crecimiento porcentual anual de la demanda en los demás sectores de consumo.

## **Dinámica de Sistemas**

<http://www.dinamica-de-sistemas.com/>



## **Vensim**

<http://www.atc-innova.com/>

## Libros

## Cursos Online



[Ejercicios](#)



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



[Avanzado](#)



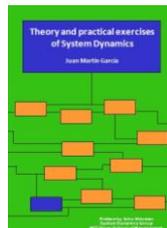
[Curso Superior en creación de modelos de simulación](#)



[Conceptos](#)



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



[English](#)



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



[Português](#)



[System Thinking aplicado al Project Management](#)