

**CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DIGITAL
DE ANÁLISIS ESPACIAL DE LAS INTENSIDADES
Y ESTRUCTURA DEL CONSUMO
ENERGÉTICO NACIONAL.**

Proyecto Venemap/Venerg/IGDR¹

Karenia Córdova Sáez*

Resumen

Las investigaciones en materia de consumo energético e intensidades energéticas están predominantemente dominadas por análisis económico estadísticos que pocas veces toman en consideración la **variable espacial** como herramienta de análisis. Si bien los indicadores pueden enmascarar comportamientos específicos, en relación al consumo de un determinado energético, o al comportamiento de un determinado sector, son de gran utilidad para realizar análisis de gran escala, donde por la magnitud de las variables que se involucran, llevaría un tiempo indescriptible el levantamiento, o la construcción de una data fuente de mayor precisión.

Partimos del supuesto, de que Venezuela, posee, de acuerdo a evaluaciones comparativas realizadas por la Dirección de Planificación Energética del MEM, uno de los más altos índices de electrificación de la América Latina, constituyéndose por lo tanto este indicador, en un instrumento valioso de análisis, para estudiar la diferenciación espacial del consumo energético nacional.

* Geógrafo. M. Sc. Planificación de Sistemas Energéticos.

¹ El Proyecto VENEMAP-VENERG, del Instituto de Geografía y Desarrollo Regional, constituye una base de datos digital sobre infraestructura y redes energéticas a nivel nacional.

A tales efectos se procedió a calcular estimaciones de consumo con base a este indicador, tomando en consideración los centros poblados a nivel nacional con una población superior a los 2.500 hab. Esta información fue volcada directamente sobre la base digitalizada de centros poblados, construyéndose a partir de ella, con los recursos de un sistema de información geográfico, un **modelo espacial de aproximación al consumo eléctrico nacional**, que es la experiencia que sobre la cual versa este trabajo.

Palabras clave: Modelaje espacial, Energía, Consumo.

Abstract:

The energy consumption research has been dominated by statistical and mathematical modeling that doesn't consider the spatial analysis as auxiliary planning tool. Unless the construction of indicators might disguise some tendencies and facts, in small scales analysis, they are useful in large scales or national studies to determine general behaviors and tendencies, or un-existing energy consumption data, which might take a long time to compile.

As Venezuela has one of the highest per capita electrification levels, we consider this variable, as a valuable indicator to analyze the energy consumption, and also as an important tool to determine spatial differences in the national energy consumption patterns.

To that end, energy consumption estimations were calculated on the basis of this indicator, considering the population for the urban center registered by the census, larger than 2,500 hab. This information was used to built, assisted by GIS, a national spatial model of energy consumption. This experience is resumed in this paper.

Key Words: Energy consumption, Spatial Modeling.

INTRODUCCIÓN

Las investigaciones en materia de consumo energético e intensidades energéticas, están fundamentalmente determinadas por

análisis económico-energéticos que pocas veces toman en consideración la variable espacial como herramienta de análisis. La construcción de indicadores o números índices, para la estimación; por ejemplo, de contenido energético de un determinado producto², intensidades energéticas³, estructura de consumo energético por tipo de usuario final o por tipo de combustible⁴; son algunos de los indicadores de uso generalizado en los diagnósticos energéticos que enfatizan la evaluación de los aspectos económicos, bien sea para analizar un determinado macro sector de consumo⁵, un sector o sub-sector de consumo final o para un determinado tipo de energético.

Estos indicadores, sin embargo, pueden enmascarar comportamientos específicos, ya que al partir de la generalización de las características o del valor de un indicador particular, no es posible detectar las variaciones, con relación por ejemplo, a la estructura e intensidad del consumo energético en un determinado sector. Aún así, son de gran utilidad para realizar análisis de gran escala, donde por la magnitud del cúmulo de datos y las variables que se involucran, implicaría un tiempo y esfuerzo indescriptible para su levantamiento o la construcción de una data fuente de mayor precisión.

Con base a estas consideraciones, seleccionamos, el indicador de consumo de consumo eléctrico per-cápita, calculado en unidades energéticas equivalentes, B.E.P/Hab para el año de 1995.⁶ Partimos

² Cantidad de energía consumida por unidad de producto, expresados en unidades físicas o calóricas equivalentes, MW/ton, BEP/ton, etc.

³ Cantidad de energía consumida /producto interno bruto, expresada en unidades físicas o calóricas equivalentes, MW/ \$, BEP/ Bs o \$.

⁴ Composición relativa de los combustibles empleados por un determinado sector, unidad, etc., expresada en porcentaje.

⁵ Se refiere a los grandes sectores de la producción económica .

⁶ *Petróleo y Otros Datos Estadísticos*. PODE, 95, 2000. MEM. Dirección de Planificación Energética, Caracas, Venezuela, 1996, 2001.

del supuesto de que Venezuela posee, de acuerdo a evaluaciones comparativas⁷ uno de los más altos índices de electrificación de América Latina, a pesar de las deficiencias actuales. Constituyéndose por lo tanto, este indicador, en un instrumento valioso de análisis, para estudiar la diferenciación espacial del consumo energético a nivel nacional.

A tal efecto se procedió al cálculo de las estimaciones de consumo eléctrico con base a éste indicador; tomando en consideración los centros poblados a nivel nacional y asociándoles el valor censal correspondiente a la data de población, de acuerdo al nomenclador de centros poblados de la OCEI para 1990. Esta información censal fue vaciada en la base digitalizada de centros poblados construyéndose, a partir de ella, un modelo espacial de aproximación a las intensidades de consumo eléctrico nacional.⁸

El estudio de la demanda energética, bien sea, desde el punto de vista económico como espacial, supone sin embargo comprender la manera cómo ésta interactúa y se integra con los diferentes componentes del sistemas energético. Estos aspectos fueron considerados relevantes en el estudio, para facilitar la comprensión del enfoque espacial, tanto en la planificación como en los análisis energéticos.

LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA ENERGÉTICO

El modelaje energético supone contribuir fundamentalmente con una mejor planificación del sistema energético nacional. Por ello es importante caracterizarlo, para entender mejor su amplitud y complejidad.

⁷ Balance Energetico Nacional 1996-2000. Dirección de Planificación y Economía de la Energía. Ministerio de Energía y Minas -MEM, Caracas, Mayo 2000.

⁸ Con el auxilio de un sistema de información geográfico (SIG) y herramientas de análisis espacial se recrearon los diferentes escenarios de consumo energético nacional.

El sistema energético está integrado básicamente por tres grandes elementos:

Elementos físicos-naturales.

Elementos socioeconómicos.

Elementos tecno-estructurales.

Los elementos físico-naturales se refieren básicamente a las características de los recursos naturales que pueden ser potencialmente aprovechables como insumos energéticos, tales como los hidrocarburos, la energía geotérmica, el potencial hidroenergético, solar, eólico etc. Las características se refieren específicamente a las condiciones de localización, calidad y cantidad de los recursos; éstas presentan gran variabilidad espacial y constituyen uno de los determinantes para el desarrollo de la industria energética.

Los elementos socioeconómicos son a su vez complejos y dinámicos, involucran a la sociedad en su conjunto, su estructura económica, político-institucional, su capacidad de financiamiento, compromisos nacionales e internacionales, entre otros.

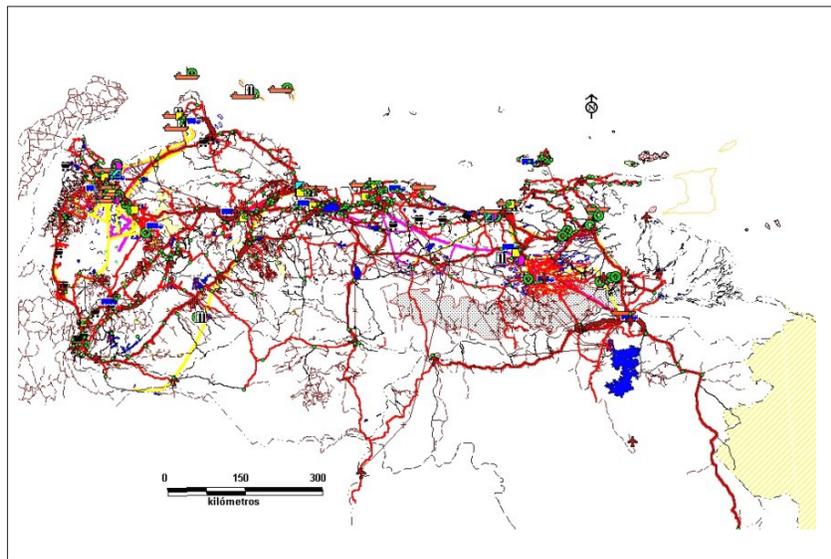
Los elementos tecno-estructurales se refieren específicamente a la infraestructura energética de producción, generación, transmisión, distribución y comercialización; que se distribuyen espacialmente vinculando las fuentes primarias de los recursos energéticos con los centros de generación, transformación y/o con los centros de consumo final (Figura No. 1).

EL SISTEMA ENERGÉTICO

La articulación de estos elementos constituye, a su vez, el sistema energético nacional, donde se integran los sectores de la demanda y la oferta de energía, representados básicamente en tres sectores:

El Sector primario-productor o el sector de la oferta de energía, el sector secundario intermediario o de transformación, donde se ubica la industria energética y el sector terciario o de consumo que corresponde a los segmentos de la demanda energética o usuarios finales de la energía. Las grandes empresas energéticas nacionales

Figura No. 1
El Sistema Energético Nacional



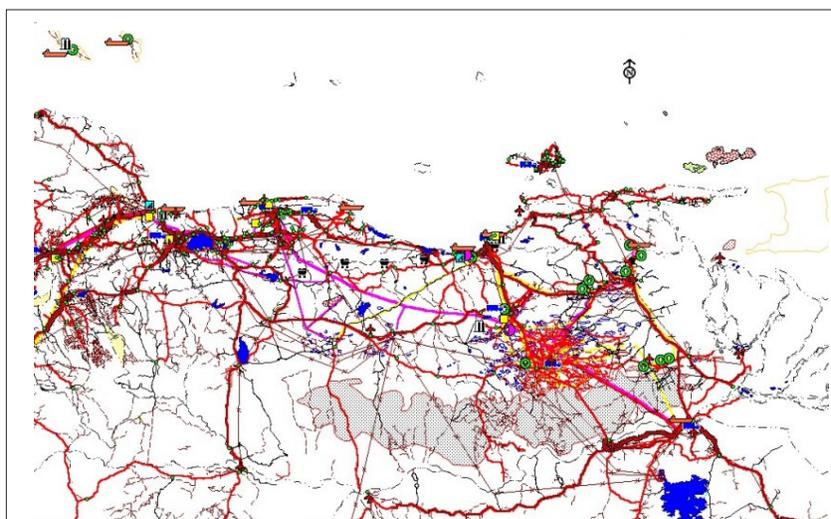
Fuente: Proyecto VENERG/VENEMAP. Elaboración Propia.

o internacionales, generalmente operan en los tres segmentos, aunque algunas pueden especializarse en solo un segmento, por ejemplo a nivel de la prestación de servicios y comercialización. Sin embargo, la tendencia reciente, es hacia la integración operativa⁹ de las empresas, de una o varias, en todas las áreas, para penetrar y consolidarse en mercados locales y foráneos con mayor facilidad¹⁰ (Figura N° 2, detalle).

⁹ Vía convenios operativos, acuerdos comerciales, etc., por ejemplo, para garantizar la operatividad y el aprovechamiento de las capacidades y el potencial del sistema de manera integral.

¹⁰ La reciente megafusión, Mobil-Exxon constituye un reflejo de esta tendencia de re-organización de las corporaciones en grandes monopolios o conglomerados energéticos, a nivel de país, sin embargo, tenderá a observarse un proceso inverso, caracterizado por una progresiva desaparición de los monopolios energéticos cerrados, con una segmentación creciente del mercado energético y la aparición de empresas complejas de capital mixto que operan en diversos ámbitos económicos y geográficos de actuación.

Figura N° 2 (detalle figura N° 1)



Fuente: Proyecto VENERG/VENEMAP. Elaboración Propia.

LA PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA

La complejidad de las acciones en el campo energético requiere de una rigurosa planificación. Las perspectivas de los mercados locales e internacionales orientan y refuerzan las tendencias hacia determinadas acciones, estimulando o desestimulando la producción de determinados energéticos en el mercado local o internacional y en consecuencia; las inversiones orientadas hacia la producción de estos recursos. Esta dinámica compleja, requiere entonces un seguimiento constante y análisis prospectivos para definir estrategias de planificación a corto, mediano y largo plazo, a fin de consolidar estrategias, atender contingencias y/o

situaciones extraordinarias en el mercado energético interno y/o externo.

Las empresas energéticas pueden realizar sus actividades de planificación, bien sea de modo sectorial, esto es, desde cada una de las industrias o unidades operativas que integran el conglomerado, o de forma integrada; en coordinación con el resto de los componentes corporativos, atendiendo, por ejemplo, a las características y especificidades del mercado local, o siguiendo los ejes fundamentales del consorcio o casa matriz. La integración puede realizarse sólo a nivel de precios, o puede involucrar una planificación más exhaustiva y compleja de los mercados energéticos cuando se opera en diferentes segmentos, es decir; en diferentes mercados energéticos y con diferentes productos energéticos.¹¹

HERRAMIENTAS Y METODOLOGÍAS DE PLANIFICACIÓN ENERGÉTICAS

Existen diferentes metodologías para realizar análisis económico-energéticos, fundamentalmente estimaciones de tipo econométrico que suponen un ecuacionamiento o modelaje matemático de las variables más representativas del funcionamiento de un determinado segmento del sistema energético; o a través de un diagnóstico de la situación actual y un estudio de tendencias, con data generada en base a escenarios precedentes.

En la planificación energética convencional, en el caso venezolano, el énfasis fundamental se coloca sobre los análisis de la demanda; ya que históricamente, se ha asumido un “*superávit de disponibilidades energéticas*” o excedente en la oferta de energía

¹¹ El ámbito de las corporaciones energéticas puede abarcar desde fuentes convencionales, hasta fuentes alternas; constituyéndose en compañías o conglomerados pluri-energéticos de actuación glo-cal (global- local).

convencional¹², visión que se mantiene, con pocas variantes en las instituciones encargadas del diseño de la planificación energética nacional o sectorial. Las restricciones en la oferta, desde este punto de vista, serían entonces consecuencia de limitantes de orden financiero o derivadas de una inadecuada gestión del sistema o del recurso, más que de la existencia o variación en las disponibilidades reales. Sin embargo en los últimos años, las incidencias de la variabilidad climática sobre la generación hidro-eléctrica, han llamado la atención sobre la necesidad de un monitoreo permanente, de los parámetros ambientales que puedan afectar la oferta de este tipo de energía. El análisis de la demanda, en este contexto, de su estructura, intensidad y tendencias tiene entonces un papel predominante, ya que, en el caso venezolano se asume como problema no la in-disponibilidad y si la ineficiencia en el uso final de los recursos energéticos.

Son muy útiles en este tipo de análisis la construcción de indicadores económico-energéticos, o indicadores compuestos, como por ejemplo el indicador de:

Intensidad energética = PTB/CFT (producto territorial bruto/consumo de energía final total).

Consumo energético per cápita = (población total/consumo de energía final total).

Contenido energético = (cantidad en unidades físicas de un determinado producto/consumo energético final total del sector, o industria).

Otra herramienta es la contabilización de los intercambios energéticos en forma de balances contables, donde se registran las entradas y salidas al sistema y los flujo-gramas energéticos, que

¹² Combustibles fósiles, hidroenergía de gran escala y nuclear.

indican los volúmenes y la orientación de estos flujos. Cuanto mayor nivel de desagregación presenten estos análisis, mejor será la visualización de la dinámica, evolución y tendencias de un determinado segmento del sistema energético, o del sistema energético de forma total.

LA DEMANDA ENERGÉTICA

Uno de los sectores más complejos del sistema energético es el de la demanda, ya que involucra una gran diversidad de tecnologías y transformadores energéticos que operan con diferentes niveles de eficiencia, en diferentes sectores de consumo final, como por ejemplo, el sector de transporte, el sector industrial, el sector residencial, de servicios, etc.

Planificar la atención de la demanda energética es entonces, cada vez más complejo y requiere no sólo de una visión socio-económica de la evolución y las tendencias en cada uno de los sectores, sino también una visión espacial. Esto debido a que la demanda energética se expresa *espacialmente* de forma diferenciada y esta diferenciación, deberá ser tomada en consideración para la planificación de la extensión de redes de servicios, ampliación de la capacidad de generación, etc.

Existen además otros problemas relacionados con a las características de la información existente. Generalmente la data económica energética disponible tiene escaso nivel de desagregación y problemas de inconsistencia estadística, tales como el sub-registro o la duplicación de datos, problemas de conversión cuando se transforman los registros de unidades físicas a calóricas, entre otros.

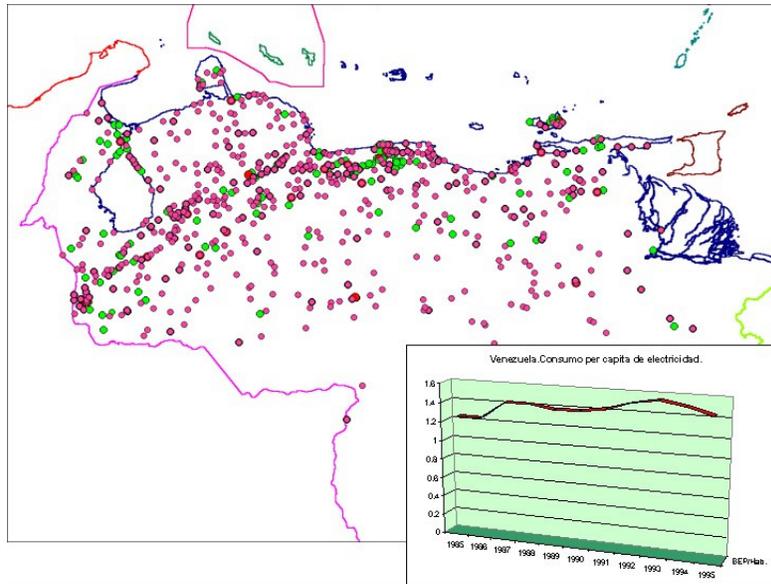
EL MODELO DE ANÁLISIS ENERGÉTICO ESPACIAL

Debido a estas limitaciones, se propuso desarrollar un modelo de análisis energético, que pudiera dar cuenta de esta *diferenciación espacial de la demanda* y que, adicionalmente, pudiera ser verificable e interactivo, una vez que se contara, por ejemplo, con nueva información censal o estadísticas energéticas más detalladas, debido a la flexibilidad que ofrecen los sistemas de información geográficos.

En este ejercicio de aproximación al modelaje de los espacios energéticos, se escogió un indicador económico-energético, el indicador de *consumo eléctrico per-cápita*, ya que como se señaló anteriormente, la energía eléctrica en nuestro país es una de las fuentes más intensiva y extensivamente utilizada. Este indicador fue asociado a la base de población OCEI de los centros poblados mayores de 2.500 hab., en primera instancia y luego una con base poblacional más densa.¹³ La base de datos final es entonces, la resultante del cruce entre estas dos bases de datos, cuya información se filtró, con el auxilio de un sistema de información geográfico (SIG), seleccionándose sólo los centros poblados mayores de 2.500 hab. de la primera base, más aquellos de la base del nomenclador que tuviesen registros de población (Figura N° 3).

A partir de estas bases de datos y por descomposición simple del indicador de consumo eléctrico per-cápita para el año 90, se estimó el consumo eléctrico para la población asociada en los diferentes centros poblados considerados, expresado en Barriles Equivalentes de Petróleo/ Hab, (BEP/hab) o unidades energéticas equivalentes. Estos indicadores pueden también recalcularse, por entidad o por municipios, siempre que se cuente con los valores de población y de consumo, en cada caso.

¹³ Nomenclador de Centros Poblados, OCEI, 1990.

Figura N° 3

Fuente: Elaboración propia.

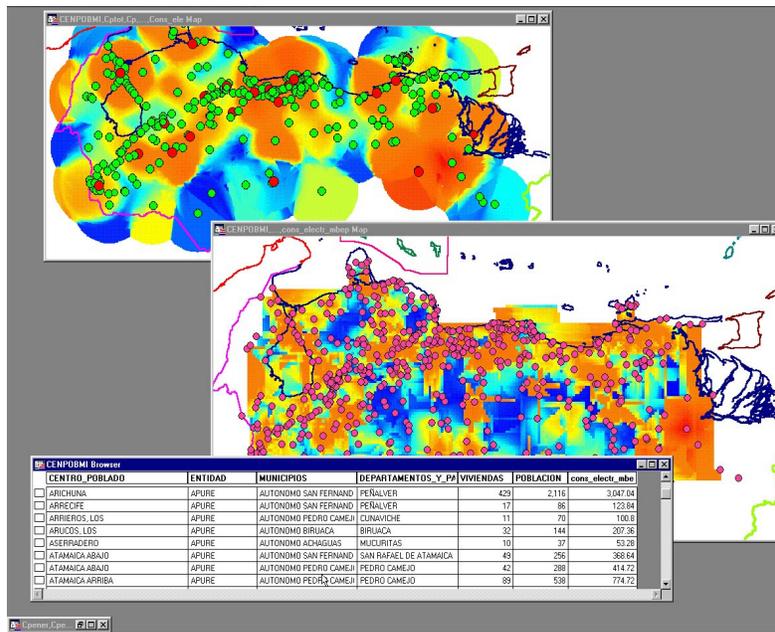
ANÁLISIS DE RESULTADOS

El resultado de este ejercicio de modelaje de la demanda energética, fueron dos niveles de aproximación a los espacios de consumo (Fig. 4). El primero, atendiendo sólo a la información de consumo estimada para los centros poblados mayores de 2.500 hab. y el segundo, tomando en consideración la base de datos ampliada generada en el estudio. Asumiendo, como en efecto son, los centros poblados como espacios de consumo, se generaron mediante análisis de interpolación, rangos espaciales que podrían interpretarse como las variaciones en la intensidad del consumo eléctrico nacional. Donde las coloraciones del amarillo naranja hasta el rojo vivo, representan

los sectores que espacialmente poseen un uso más elevado o un consumo mas elevado de electricidad, en tanto que los rangos de verdes a azules intensos abarcan las áreas de menor consumo eléctrico, las cuales, efectivamente, tienden a coincidir con espacios de menor actividad económica y densidad poblacional.

Entre el primero y el segundo modelo se observa una evolución en términos de la cobertura espacial del análisis ya que los rangos generados en el primer caso, eran más limitados espacialmente que en la segunda experiencia. Ello debido a las variaciones anteriormente citadas en la bases de datos de población (Figura N° 4).

Figura N° 4



Fuente: Elaboración propia.

El propósito de esta investigación, es ir hacia un refinamiento progresivo de la base de datos poblacional y de los parámetros o rangos de la interpolación, para obtener un análisis espacial más cercano a las condiciones reales.

Paralelamente se ha establecido contacto con las empresas e industrias que operan en el sector energético, para obtener bases de datos de consumo final energético más desagregadas y actualizadas, que permitan realizar análisis con mayor detalle, para corroborar la efectividad de los indicadores en este tipo de ensayos de modelaje. Desde el punto de vista de la planificación energética convencional, las herramientas de análisis espacial pueden utilizarse de forma complementaria en los análisis técnicos para el diseño de redes que optimicen la cobertura o la atención a la demanda, también resultan de gran utilidad para evaluar espacialmente, las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de la actividad urbana, visualizando la intensidad y extensión de este fenómeno, en relación con los posibles sumideros. Sin embargo, su mayor utilidad se sitúa en el campo de la planificación energética sustentable, en la determinación de los potenciales de las fuentes alternas, debido a las características intrínsecas de estas fuentes naturales, en la mayoría de los casos difusas.¹⁴

AVANCES DE LA INVESTIGACIÓN

Actualmente, se está actualizando el análisis de las intensidades de consumo energético a nivel parroquial, municipal y por centro poblado, utilizando las proyecciones de población OCEI * 2000-2005 y los resultados del Censo 2001, para corregir los valores de estimados. Adicionalmente, está en proceso una segunda etapa del estudio¹⁵, cuyo objetivo es la estimación de las emisiones

¹⁴ No localizables en yacimientos, depósitos, reservorios, o espacio físico determinado.

¹⁵ Con financiamiento de CDCH y colaboración del MEM-PNUD.

de gases de efecto invernadero GEI por centro poblado, a partir del consumo energético. Ello permitirá *visualizar espacialmente* las intensidades de emisión de estos gases a nivel nacional y contribuir al diseño de estrategias de mitigación que involucren el componente espacial como instrumento de análisis. La metodología y los resultados de esta segunda etapa de la investigación serán objeto de una nueva publicación en proceso.

CONCLUSIONES

Este ensayo de aproximación al modelaje de espacios energéticos, requirió la descomposición de indicadores económico-energéticos asociados a una base de población digitalizada, para construir un modelo espacial de aproximación a la demanda eléctrica nacional.

Este tipo de análisis resulta de gran utilidad para generar información espacial de indicadores económico-energéticos de especial ayuda, cuando la data generada es escasa o prácticamente inexistente.

Adicionalmente, podríamos mencionar, que las bases de datos creadas mediante sistemas de información geográficos, SIG, permiten la extensión y actualización de los registros en la medida en que se amplía la data fuente ingresada al modelo, haciendo más iterativo y dinámico el proceso de planificación energética.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA Y REFERENCIAS

- Córdova Sáez, Karenia.** 1988. "Incidencias de la Globalización sobre la dinámica espacial de las Industrias energéticas". *Revista Terra* Vol. XIV, N° 23. ISSN 1012-7089.
- _____. 2001. "Eficiencia energética en Procesos Industriales". Capítulo 9 del libro: *Evaluación y Gestión Ambiental para la Industria*. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial. CIDIAT, Mérida, ISBN 980-6483-11-1.
- Goldemberg, Johansson, Reddy & Williams.** 1988. *Energía para o Desenvolvimento*. T. A. Queiroz. Editor. São Paulo Brasil.
- Gerald, Foley.** 1981. *La cuestión energética*. Ediciones del Serbal. S. A. Barcelona España.
- Martín, Jean-Marie.** 1900. *A Economia mundial da energia*. Editora Unesp, São Paulo.
- Ministerio de Energía y Minas.** 2000. *Petróleo y Otros Datos Estadísticos*. PODE, 95, MEM. Dirección de Planificación Energética, Caracas, Venezuela, 1996-2001.
- _____. 2000. *Balance Energético Nacional 1996-2000*. Dirección de Planificación y Economía de la Energía. Ministerio de Energía y Minas - MEM, Caracas.
- OCEI.** 1990. *Nomenclador de Centros Poblados*. (Multimedia CD), Caracas, OCEI, Venezuela.
- _____. 1992. *Proyecciones de Población 1990-2020*. (Multimedia CD, Caracas, OCEI, Venezuela.
- _____. 1990. *X Censo General de Población y vivienda*. Caracas, OCEI, Venezuela.
- Universidade Federal de Rio de Janeiro.** 1986. *Energia e Desenvolvimento, Quais Desafios, quais métodos?* Area interdisciplinar de energia, AIE-COPPE/UFRJ. Editora Marco Zero/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.