

Quijano Hurtado, Ricardo y Domínguez Bravo, Javier (2008): Diseño de un proyecto integrado para la planificación energética y el desarrollo regional de las energías renovables en Colombia basado en sistemas de información geográfica. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 729-736. ISBN: 978-84-96971-53-0

# DISEÑO DE UN PROYECTO INTEGRADO PARA LA PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA Y EL DESARROLLO REGIONAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN COLOMBIA BASADO EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

*Quijano Hurtado, Ricardo<sup>1</sup> y Domínguez Bravo, Javier<sup>2</sup>*

(1) Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Escuela Procesos y Energía. Carrera 80 #65-223, Medellín (Colombia). [rquijano@unalmed.edu.co](mailto:rquijano@unalmed.edu.co)

(2) Ministerio de Educación y Ciencia. CIEMAT. Departamento de Energía. División de Energías Renovables. Av. Complutense, 22. 28040, Madrid (España). [javier.dominguez@ciemat.es](mailto:javier.dominguez@ciemat.es)

## RESUMEN

*Las dos fuentes fundamentales de energía primaria en Colombia están en crisis. Los combustibles fósiles que han abastecido durante años la demanda doméstica, dejarán de hacerlo en los próximos años. El potencial hidroeléctrico, responsable de la mayor parte de la generación eléctrica, presenta dificultades crecientes: impactos ambientales y sociales de los grandes proyectos hidroeléctricos y, sobre todo, la enorme variabilidad climática (aumento de temperaturas en la Cordillera Andina y de la intensidad y frecuencia del ENSO- El Niño Oscilación Sur-). Finalmente, el enorme potencial de recursos de energías renovables no se ha incorporado significativamente en el mix energético nacional.*

*La UNAL y el CIEMAT están desarrollando una nueva herramienta de planificación energética integrada. Esta herramienta consta de tres grandes bloques: modelos de oferta-demanda de energía, integración de energías renovables con SIG y elaboración de una matriz de sostenibilidad basada en el “análisis multicriterio” de indicadores ambientales y sociales, incluyendo las “externalidades” y el “análisis del ciclo de vida” de las diferentes tecnologías energéticas. La herramienta estará integrada dentro de un SIG, con información territorial a escala nacional, y actuará como soporte de decisiones para que la planificación energética tenga un carácter integral, incorporando aspectos medioambientales, sociales, territoriales, tecnológicos y recursos.*

*Palabras Clave: sostenibilidad, Sistemas de Soporte de Decisiones, energías renovables, sistemas de información geográfica, análisis de decisión multicriterio*

## ABSTRACT

*The two main sources of primary energy in Colombia are in crisis. The fossil fuels that had covered domestic demand for years will not be able to do it for long. The hydro potential, main source of electricity generation, is facing growing difficulties: environmental and social impacts created by large hydroelectric projects and, above all, the climate variability (temperature increase in The Andean Range and increases in the frequency and intensity of El Niño episodes-ENSO). Finally, the huge renewable energy potential is not participating significantly into the national energy mix.*

*UNAL and CIEMAT are collaborating in the development of an integrated energy planning tool. This tool focuses on three main issues: energy supply-demand models, renewable energies integration using GIS and sustainable matrix definition, based on social and environmental multi-criteria analysis and the life-cycle assessment of the different technologies. The tool will be part of a GIS and will support decision making in energy planning providing technical, resources, environmental, social and territorial information.*

*Key Words: sustainability, Decision Support Systems, renewable energy, geographical information systems, multi-criteria decision analysis*

## INTRODUCCIÓN

Un elemento esencial para alcanzar el desarrollo sostenible es contar con un suministro de energía adecuado y fiable, ya que ésta es vital para erradicar la pobreza, mejorar el bienestar humano y elevar la calidad de vida de la población. Sin embargo, muchas regiones del mundo no cuentan con un suministro confiable y, además, exceden los límites económicos de su uso, y, en otras áreas, la presión y degradación ambiental impiden mantener un desarrollo sostenible. En este sentido, se habla que un tercio de la población mundial todavía depende de los combustibles no comerciales como leña, residuos agrícolas y cerca de 1.700 millones de personas no tienen acceso a la electricidad (United-Nations, 2002) .

En la actualidad, es cada vez más palpable la dicotomía entre crecimiento y sostenibilidad. En este contexto, organizaciones mundiales como Naciones Unidas y la UNESCO han demostrado que los modelos actuales de producción y consumo de energía, en el medio y largo plazo, son insostenibles (Brown, 2002; United-Nations, 2002; Varios, 2004) .

Por otro lado, desde la comunidad científica se van recopilando cada vez mayor número de evidencias de la desigual distribución de la biodiversidad a lo largo del planeta y existen determinadas áreas privilegiadas especialmente ricas en cuanto al número e importancia de las especies que sustentan. Así el ecologista británico Norman Myers (2006) ha construido el concepto de "zonas calientes de biodiversidad" e identificado áreas críticas guiado por los trabajos e investigaciones de las organizaciones de actividades productivas. En esta línea, Colombia posee una gran riqueza ecológica. Quizás las dos zonas más excepcionales sean los Andes tropicales (IDEAM, 2005) clasificados como una de las dos zonas "hipercalientes" por su número excepcional de plantas endémicas (cercano a 20.000) y por la mayor concentración de vertebrados endémicos del mundo.

De la misma manera, Colombia se ha caracterizado por ser un país donde la relación entre energía y medio ambiente es especialmente conflictiva y ha generado incontables problemas tanto al medioambiente como a las comunidades que viven en las áreas de influencia de los proyectos energéticos (UPME, 2003) . Estas dificultades se han traducido en sobrecostos para los proyectos y daños irreparables para el medioambiente y para las poblaciones afectadas. A pesar de que han existido procedimientos metodológicos para involucrar los costos ambientales en algunos de estos proyectos, los estudios tienen una fuerte carga subjetiva que genera inconvenientes para su cuantificación y valoración económica (World-Bank, 1992) , llegando en algunos casos a encontrarse con valoraciones que no son representativas ni de la riqueza en la biodiversidad natural ni de su condición social de país multiétnico y pluricultural.

En las evaluaciones ambientales sectoriales (World-Bank, 1992) se observa que han faltado herramientas de planificación que integrasen armónicamente los aspectos energéticos y ambientales, logrando la internalización de los costes externos medioambientales (externalidades) y los costes sociales. Esta valoración debería de haber sido reflejada en los planes de manejo ambiental, para su mitigación o compensación. Por el contrario, el problema se fue incrementando exponencialmente en un pasivo ambiental y, en algunos casos, con daños irreversibles e irreparables a las comunidades y a los ecosistemas (2005) .

Es de resaltar, que el desarrollo del país ha ido unido al crecimiento de la demanda eléctrica. Sin embargo, se requiere de herramientas robustas que puedan cumplir con el objetivo central del Plan Energético Nacional formulado por la Unidad de Planificación Minero – Energética: *maximizar la contribución del sector energético al desarrollo sostenible del País, planteando como eje central que “ En la medida que la economía crezca, se requiere de un sector energético seguro, confiable y eficiente para hacer de Colombia un país competitivo con desarrollo sostenible”* (2007) .

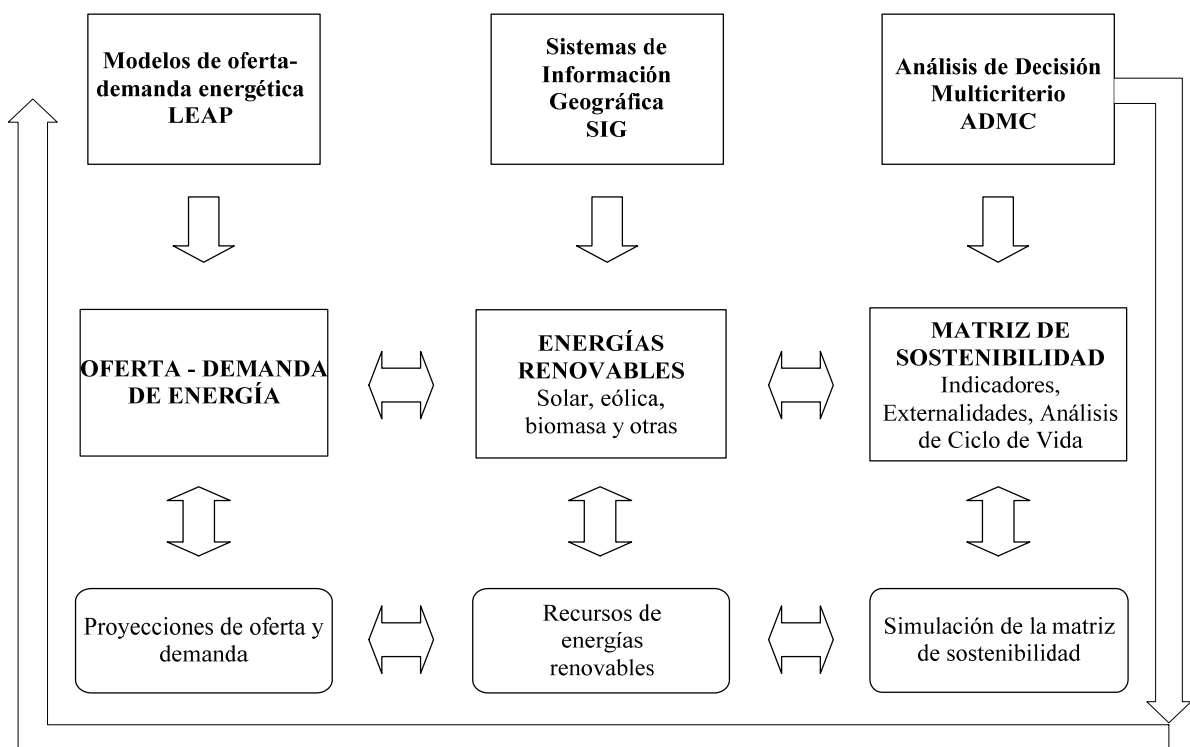
En tal sentido, el presente artículo recoge los planes para el desarrollo de una herramienta integral de planificación que supla el vacío que se ha venido presentando en este sector, logrando visualizar un horizonte más apropiado y real que las condiciones actuales, de acuerdo con la propuesta metodológica sugerida. Los lineamientos estarán basados en los criterios internacionales del desarrollo sostenible, aplicando diferentes técnicas para la valoración integral con métodos existentes (UNDESA, 2001; IAEA, 2005; Vera, *et al.*, 2007) para una aplicación espacio-temporal de orden Nacional o regional.

## OBJETIVOS

El principal objetivo del proyecto que aquí presentamos es diseñar e implementar una metodología de modelación para la planificación energética integral, tipo plataforma, que considere de manera general todos los sectores de consumo y energéticos reales y potenciales de una región geográfica. Para ello, la plataforma debe de evaluar y valorar, mediante el uso del análisis del ciclo de vida (ACV) y de los procedimientos de valoración de externalidades, las consecuencias ambientales de la aplicación del sistema energético. Esta valoración habrá de ser equitativa y comparar dimensiones técnicas, económicas, sociales, ambientales e institucionales, creando un equilibrio de sostenibilidad energética y ambiental. El objetivo último será suministrar elementos de juicio para la toma de decisiones en el diseño de políticas energéticas y ambientales en el medio y largo plazo.

Como objetivos específicos del proyecto, de acuerdo a la estructura metodológica del mismo, podemos enumerar los siguientes:

1. Diseñar e implementar una metodología de planeación energética y ambiental integral, que mediante el análisis de ciclo de vida y la valoración de externalidades estime las consecuencias ambientales producidas por la implementación de un sistema energético, promoviendo el uso de energías sostenibles.
2. Propender a la implementación de una metodología para la cuantificación e integración de recursos energéticos renovables, utilizando SIG.
3. Estructurar la implementación de una matriz de sostenibilidad de energía – ambiente para la toma de decisiones en materia energética, utilizando modelos de análisis de decisión multicriterio – (AMCD), que suministre elementos de juicio para la planificación y toma de decisiones en el diseño de políticas energéticas y ambientales en el medio y largo plazo. Los métodos de análisis multiobjetivo identifican la mejor o las mejores soluciones considerando múltiples objetivos simultáneamente. Utilizando el AMCD se simulan nuevos escenarios a partir de los datos operados en la matriz.



**Figura 1.** Diagrama de Flujo del Modelo.

## METODOLOGÍA

El desarrollo de este proyecto se estructura en tres grandes temas: oferta-demanda de energía, integración de energías renovables y sostenibilidad medioambiental (Ver Figura 1).

En el primer tema, se parte de una demanda de energía, con comportamiento normal, para calcular la oferta de energía necesaria para suplir esta demanda. Se identifican los impactos ambientales causados en esta matriz energética. Se valoran los impactos ambientales causados, utilizando técnicas de análisis del ciclo de vida (ACV) (Lago, *et al.*, 2006; Lago, *et al.*, 2007) y las externalidades (Varela, *et al.*, 1999). Los resultados de este bloque son tratados en el tercero con la construcción de la matriz de sostenibilidad y análisis multiobjetivo.

El desarrollo de este primer bloque se basa en el modelo LEAP (Long-Range Energy Alternatives Planning System) fue desarrollado conjuntamente por el Instituto de Ambiente de Estocolmo y la Universidad de Boston, con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.- PNUMA. (Quijano, 1990) El modelo esta constituido por una base modular en cuatro bloques de programas:

- a. Proyecciones macroeconómicas y demográficas.
- b. Escenarios energéticos.
- c. Agregación.
- d. Base de datos ambiental.

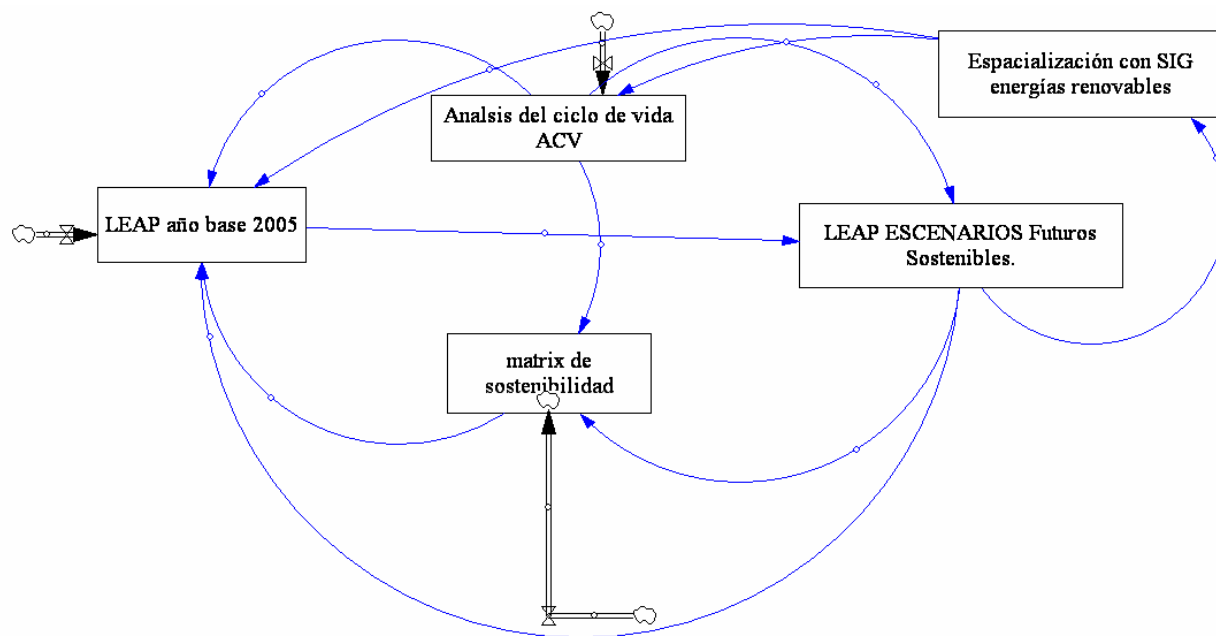
Los beneficios son su versatilidad y que se puede implementar con un año de información base muy bien desagregada, no requiere series de tiempo, determina la demanda agregada de energía, calcula la transformación y oferta de recursos, elabora el balance de energía y además calcula la emisión de contaminantes con factores de la EPA.

En el segundo tema se utilizan SIG para la integración de los recursos energéticos renovables (sobre estos aspectos se puede consultar la otra comunicación presentada por los autores en este Congreso).

En este tema, se parte de la caracterización del modelo actual de oferta y demanda de recursos de energías renovables (Dominguez, *et al.*, 2007) y se realiza el análisis geográfico de planificación estratégica en base a las restricciones de uso y mediante simulación de futuros escenarios de oferta – demanda con diferentes posibilidades tecnológicas. En este apartado, se pone un mayor énfasis en la evaluación del potencial de recurso renovable (fundamentalmente energía solar, eólica y biomasa), previendo ampliar la canasta energética en áreas potencialmente atractivas para la sustitución o inclusión de nuevas formas de energías. El resultado esperado es un mix tecnológico (Dominguez Bravo, *et al.*, 2007) sostenible y jerarquizado que se incorporará a la matriz de sostenibilidad mediante el ACV, y se integrará posteriormente a los modelos de planeamiento con nuevos escenarios.

El tercer objetivo es la construcción de la matriz de sostenibilidad (UPME, 2003), definida como la confluencia de diferentes dimensiones: tecnológica, ambiental, social, económica, institucional y cultural, que será usada como herramienta para la valoración objetiva de las actividades del ciclo energético sostenible. La matriz estará constituida por variables, indicadores, índices y criterios, todos ellos enmarcados bajo las mismas dimensiones. Los resultados de la matriz alimentarán la entrada de la estructura de consumo energético, cambiando de esta manera su composición, creando por lo tanto escenarios sostenibles (UNDESA, 2001; Vera, *et al.*, 2007), y cerrando el ciclo de la modelación integral. El cambio de la estructura y composición energética, presentará alternativas y elementos para la construcción de políticas energéticas y ambientales sostenibles. En esta matriz se evaluarán los impactos ambientales de los ciclos de producción de energía así como las externalidades o costos externos asociados a dichos ciclos y que no son recogidos en el precio de mercado y pagados por la sociedad. En el desarrollo de la matriz se contará igualmente con la recopilación de la información proveniente de los resultados del ACV de las diferentes alternativas energéticas y la información disponible para la valoración de externalidades. De esta manera se construirán indicadores de sostenibilidad (IAEA, 2005) que serán esenciales para la valoración integral de los escenarios. El resultado del análisis para la toma de decisiones será la valoración objetiva de todas las actividades del ciclo energético; la matriz (Smith, *et al.*, 2000) estará constituida con variables, indicadores, índices y criterios, todos ellos enmarcados bajo las mismas dimensiones tecnológica, ambiental, social, económica, institucional y cultural.

La secuencia del modelo (Ver Figura 2), integra cuatro elementos (LEAP, SIG, ACV y Matriz de Sostenibilidad) que una vez implementados contribuirán a una mejor definición de un nuevo modelo energético más sostenible que el actual (Brown, 2002; United-Nations, 2002; Varios, 2004), desarrollando un procedimiento metodológico que evalúe todas las formas de energía bajo los principios de la sostenibilidad, y con los mismos criterios de valoración.



**Figura 2.** Iteraciones del Modelo Energéticos Sostenible

Como podemos ver en la figura 2, la iteración del modelo comienza ejecutando LEAP para el año base (se toma el año 2005 porque es la última información del balance de energía consolidado) y, por tanto, los resultados y primeras proyecciones estarán basados en la estructura energética inicial.

Paralelamente, se han construido dos módulos. Uno con el ACV de todas las fuentes de la actual canasta energética y de las fuentes potenciales que se introducirán en los escenarios (en nuestro caso las energías renovables) valoradas bajo los mismos criterios. Y otro, con la matriz de sostenibilidad, la cual estará alimentada por los resultados del módulo uno de ACV, y que, con la ayuda de las técnicas de análisis multiobjetivo (AMO), revelará todas las opciones energéticas existentes, presentando cuales son las opciones energéticas sostenibles. En este momento se crean unos escenarios sostenibles pero se debe corroborar si son factibles de satisfacer de la demanda de energía calculada en el primer paso del LEAP.

En ese momento, se inicia una tercera etapa que verifica si los escenarios son coherentes y podemos suministrar con los recursos renovables existentes la demanda de energía. En esta etapa, se inicia la espacialización de las fuentes energéticas con la ayuda de SIG, presentando opciones de energía solar, eólica, biomasa, con los cultivos energéticos y determinando las restricciones de orden ambiental, técnica y social. Aquí, se analizan variables climáticas, radiación solar, velocidad y dirección del viento, hidrología, pendientes, infraestructura, restricciones ambientales, ecosistemas, cultivos, usos del suelo y potencialidades y compatibilidades del uso del suelo y de la biomasa para la utilización de biocombustibles y energías renovables.

Finalmente y como se observa en el gráfico, existe una retroalimentación tanto del SIG hacia el ACV, como a la matriz de sostenibilidad y el LEAP, en donde se va construyendo y optimizando los escenarios, la satisfacción de la demanda y la sostenibilidad energética y ambiental.

## RESULTADOS ESPERADOS

Al culminar la presente investigación se espera aportar una herramienta de simulación de planificación integral energética y ambiental, que con la utilización de los SIG, la valoración de externalidades, el análisis del ciclo de vida (Labriet, *et al.*, 2007, 2007) , y la consolidación de la matriz de sostenibilidad de respuesta a los siguientes aspectos:

- Potencialización del recurso de energías renovables.
- Valoración de los impactos y consecuencias ambientales.
- Análisis integral de los energéticos en el ciclo de vida.
- Simulación de una canasta energética con energías sostenibles,
- Obtención de una matriz de sostenibilidad energética – ambiental.
- Instrumentos para formulación de políticas energéticas y ambientales en el mediano y largo plazo.

## ESTADO ACTUAL DEL PROYECTO

Siguiendo el orden temático establecido en el apartado de metodología a continuación vamos a describir el estado actual del proyecto.

En el primer tema, se avanza en la construcción de la base de datos de la demanda energética desagregada por sectores de consumo. La base de datos tiene una estructura arbórea jerarquizada descendiente de mayor a menor, que se inicia con la demanda agregada por sectores de consumo, participaciones de energéticos por subsector y uso y, en el nivel más bajo, con la intensidad energética o consumo específico. Como se menciono anteriormente, se usa el modelo de prospección energética LEAP para el año base 2005 debido a que la información disponible energética y económica tiene un desfase en la recolección y organización de dos años.

En el segundo tema, se tiene toda la información de línea base para hacer los análisis de la caracterización del modelo de oferta y demanda de recursos de energías renovables y se realiza el análisis geográfico de planificación estratégica basado en las restricciones de uso. Con el objetivo de facilitar la elección de las variables más significativas para cada categoría de usos del suelo, se ha procedido en primer lugar a la obtención y análisis de las cifras absolutas y relativas procedentes de la superposición de cada variable y del mapa de usos del suelo, y de los resultados de un índice de asociación o correlación (Cramer's V) entre ellas. Las restricciones y los factores se han precisado de la siguiente manera:

Las restricciones corresponden a mapas binarios (0/1) o booleanos, en donde las zonas excluidas del análisis o máscaras gráficas (valor 0) pueden corresponder al fondo no útil de la imagen, a categorías de usos del suelo incompatibles con la analizada, o bien a las clases o intervalos de aquellas variables significativas donde se ha comprobado la ausencia justificada de dicha categoría. Por ello, algunas de las restricciones son comunes a diversas categorías, mientras que otras son específicas del uso analizado.

Los factores son mapas cuyos niveles digitales se distribuyen en una escala estándar, desde 0 (no apto) a muy apto, indicando la menor o mayor aptitud del píxel para que se localice el uso analizado. Para la configuración de dichos mapas, y en función de la naturaleza cualitativa o cuantitativa de cada variable y de su grado de asociación con el mapa de usos del suelo, se ha optado por diversos métodos:

- Estandarización de las variables cuantitativas cuya gradación ascendente o descendente se adecue a la aptitud para la localización del uso del suelo analizado.
- Ponderación de las clases o intervalos de las variables cuantitativas o cualitativas en función de la ocupación del uso del suelo analizado.

En el siguiente paso llegamos a unas zonas denominadas “provincias energéticas o potencialidades energéticas” teniendo en conjunto, la biomasa, la energía solar, la eólica y el potencial hídrico, correlacionándola con los lineamientos de la seguridad alimentaria.

En el tercer tema, se trabaja en la constitución de la matriz que comprende la selección de un conjunto de alternativas factibles, la optimización con varias funciones objetivo simultáneas y un único agente decisor, y procedimientos de evaluación racionales y consistentes. Para realizar la evaluación y decisión de un número finito de alternativas de solución, a través de:

- *Conjunto de alternativas* estable, generalmente finitas de soluciones factibles -que cumplen con las restricciones-, posibles o previsibles. Se asume que cada una de ellas está perfectamente identificada, aunque no son necesariamente conocidas en forma exacta y completa todas sus consecuencias cuantitativas y cualitativas.
- *Criterios de evaluación*, atributos, objetivos que permiten evaluar cada una de las alternativas y analizar sus consecuencias, conforme a los pesos o ponderaciones asignados por el agente decisor y que reflejan la importancia relativa de cada criterio.
- *Matriz de impactos*, que resume la evaluación de cada alternativa conforme a cada criterio; una valoración precisa o subjetiva de cada una de las soluciones a la luz de cada uno de los criterios; la escala de medida de las evaluaciones, que pueden ser cuantitativa o cualitativa.

## CONCLUSIÓN

A lo largo de este artículo hemos expuesto los trabajos que se están desarrollando desde la UNAL, en colaboración con el CIEMAT, para desarrollar una herramienta de ayuda a la planificación energética. Esta herramienta integrará en un proceso iterativo, aspectos energéticos, sociales y ambientales, cuyo resultado será la propuesta de diferentes escenarios energéticos con la valoración de la sostenibilidad global, y de cada uno de sus componentes, en cada uno de ellos.

El proyecto es muy ambicioso porque trata de unir diferentes herramientas y técnicas que hasta ahora se habían manejado de forma individual en los procesos de planeamiento. El objetivo del proyecto redundará sin duda en una mejora de los métodos tradicionales acorde con los criterios y parámetros propios de la sostenibilidad.

## AGRADECIMIENTOS

La Agencia Española de Cooperación internacional para el Desarrollo (AECID) ha financiado esta propuesta en el marco del programa PCI-INTERCAMPUS con Iberoamérica como proyecto de cooperación entre la Universidad Nacional de Colombia y el CIEMAT en España.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAVV (2005): *Informe del estado de los recursos ambientales en Colombia*. Contraloría General de la República, Bogotá.
- AAVV (2007): *Plan Energético Nacional 2006 - 2025, contexto y estrategias*. Unidad de Planeación Minero Energética, Bogotá.
- Brown, M. M. (2002): *'Johannesburg and the MDGs', CHOICES supplement - Mobilising Actions for Sustainable Development. Global Partnerships for the 21st Century*. UNDP, New York.
- Dominguez Bravo, J., et al. (2007): GIS approach to the definition of capacity and generation ceilings of renewable energy technologies. *Energy Policy*, 35 (10): 4879-4892.

- Dominguez, J. y Amador, J. (2007): Geographical information systems applied in the field of renewable energy sources. *Computers & Industrial Engineering. A Cluster on Planning and Management of Energy and Infrastructure Engineering Projects*, 52 (3): 322-326.
- IAEA (2005): *Energy indicators for sustainable development: guidelines and methodologies*. International Atomic Energy Agency, United Nations Department of Economic and Social Affairs, International Energy Agency, Eurostat, European Environment Agency, Vienna.
- IDEAM (2005): *Estado de los recursos Naturales Renovables en Colombia*. IDEAM, Bogotá - Colombia.
- Labriet, M., *et al.* (2007): Energy policies in Spain in the context of the new European energy strategy. *9th IAAE (International Association for Energy Economics) European Energy Conference*. Florence, Italy.
- Labriet, M., *et al.* (2007): Future Energy Policies in Spain given the European Energy and Climate Policy Framework. *International Energy Workshop*. Stanford, USA.
- Lago, C., *et al.* (2007): *Análisis del Ciclo de vida de Combustibles alternativos para el Transporte*. CIEMAT, Madrid.
- Lago, C., *et al.* (2006): *Life Cycle and Environmental Analysis of Biofuels in Europe*. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas CIEMAT, Madrid, 435 pp.
- Myers, N. (2006): <http://www.answers.com/topic/norman-myers> developed the concept of [biodiversity hotspots](#). [Consultado agosto 2006]
- Quijano, R. (1990): *Aplicación del Modelo LEAP caso Colombia proyección 2000-2010*. Ministerio de Minas y Energía Universidad Javeriana Facultad de Ingeniería, Bogotá.
- Smith, R., *et al.* (2000): *Decisiones con múltiples objetivos e incertidumbre*. Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, Medellín (Colombia).
- UNDESA (2001): *Indicators of sustainable development: guidelines and methodologies*. United Nations Department of Economic and Social Affairs, New York.
- United-Nations (2002): *WEAHB Working Group, A framework for action on energy*. UN, New York.
- UPME (2003): *Evaluación del plan energético Nacional 2010*. Bogotá (Colombia).
- Varela, M. y Sáez, R. (1999): *Externe National Implementation Spain*. The European Commission, Joule II Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas CIEMAT, Madrid.
- Varios (2004): [http://www.barcelona2004.org/esp/banco\\_del\\_conocimiento/dialogos/ficha.cfm?IdEvento=156](http://www.barcelona2004.org/esp/banco_del_conocimiento/dialogos/ficha.cfm?IdEvento=156) UNESCO. [Consultado diciembre 2006]
- Vera, I. y Langlois, L. (2007): Energy indicators for sustainable development. *Energy Third Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 32 (6): 875-882.
- World-Bank (1992): *Environmental Assessment Electrical power Colombia*. Interconexión Eléctrica S.A. Ministerio de Minas y Energía, Bogotá.