



CIENCIAS SOCIALES Y HUMANÍSTICAS

La toma de decisiones en proyectos de energización rural para la contribución a la mejora de la calidad de vida

ENTIDADES EJECUTORAS PRINCIPALES: Facultad de Ciencias Económicas y el Centro de Investigaciones Agropecuarias. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas

Entidades ejecutoras participantes: Colegio Imperial de Londres; Universidad ICESI; Universidad Rey Juan Carlos, España; Universidad Politécnica de Cartagena, Murcia

AUTORES: Taymi González Morera¹, Raúl Olalde Font¹, Judith Alazraque Cherni², Juan Felipe Henao Piza³, Lucía Serrano Luján⁴, Antonio Urbina Yeregui⁵, Inocencio Raúl Sánchez Machado¹

Filiación: ¹Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. ²Colegio Imperial de Londres. ³Universidad ICESI. ⁴Universidad Rey Juan Carlos, España. ⁵Universidad Politécnica de Cartagena, Murcia

Colaboradores: Isaac Dyner Rezonzew¹, Patricia Jaramillo¹, Teodoro Sánchez², Rafael Escobal², Carlos Manuel Vergara Castro³, Yuniel Arguelles Domínguez³, Michel Díaz Pérez⁴, Jorge Luis González Rodríguez⁵, Elizabet Ibarraquirre Carbonell⁶, Juan Carlos Gil Santos⁶, Lismey Linares García⁷, Lianet Herrera González⁷, Marisesy Rodríguez Fuentes⁷, Mercedes Solís Águila⁷, Ramón Rivero Pino⁷, Oscar Leandro Jimenez Cabeza⁸

Filiación: ¹Universidad Nacional de Colombia; ²Soluciones Prácticas, Lima, Perú; ³Empresa de Hidroenergía de Villa Clara. Ministerio de la Industria Básica; ⁴Cooperativa de Créditos y Servicios Aracelio Iglesias; ⁵Asamblea Municipal del Poder Popular de Fomentos; ⁶Universidad de Sancti Spiritus; ⁷Universidad Central Marta Abreu de Las Villas; ⁸CUBAENERGIA

RESUMEN

Se presentan dos herramientas para el apoyo a la toma de decisiones en proyectos de energización rural: el modelo SURE, que constituye el resultado principal de varios proyectos de colaboración internacional y PNCIT que abarcan el periodo del año 2001 al 2011 y que se integra en el año 2015 al "procedimiento para la contribución a la mejora de la calidad de vida desde la energización rural" (PEMAR). PEMAR como procedimiento integrador consta de tres fases: la determinación de la situación inicial de la comunidad (fase I), la predicción de impactos por cada dimensión del desarrollo (fase II), y el proceso de gestión del grupo de trabajo de desarrollo local del Consejo de Administración Municipal (fase III). SURE se integra al procedimiento principal (PEMAR) en la fase I y II teniendo como función la determinación de la línea base; la evaluación de posibles soluciones de inversiones de energización rural mediante indicadores cuantitativos y cualitativos obtenidos a partir del impacto que se predice de las posibles alternativas energéticas valoradas en cinco recursos de la comunidad rural: recurso social, humano, físico, financiero y natural. Se considera aporte teórico-metodológico-investigativo la recopilación y análisis de las principales concepciones sobre el aporte de la energía y sus fuentes renovables al mejoramiento de la calidad de vida y al desarrollo sostenible, con énfasis en el medio rural; todo lo que constituye la base del modelo y del procedimiento

Palabras clave

toma de decisiones; proyectos; energización rural; calidad de vida

que se integran y diseñan. El aporte práctico-social radica en que se propone y aplican los procedimientos generadores de acciones recomendadas para perfeccionar la gestión del gobierno a escala territorial en apoyo a los Consejos de Administración Provincial (CAP) y Consejos de Administración Municipal (CAM). Varias aplicaciones de SURE, se realizan en Colombia en la comunidad rural "San José de Cravo Norte" y en Cuba en la comunidad rural aislada "Las Calabazas". En las comunidades de "Manantiales" y "4to Congreso" se llevaron a cabo inversiones acordes a los resultados obtenidos y se reseñaron mediante artículos científicos de grupo II. PEMAR se introduce en la práctica en la comunidad "4to Congreso", la cual se gestionó a partir del grupo de trabajo de desarrollo local del Consejo de Administración Municipal de Fomentos y otras estructuras locales. Desde el punto de vista económico se ofrecen bases metodológicas que pueden contribuir al ahorro de divisas al país en el proceso de asignación de recursos para la electrificación de objetivos económicos y sociales aislados. Además, se posibilita la potenciación de la reanimación económica de las ZNI. Constituyen un aporte medioambiental las bases metodológicas y el procedimiento propuesto, que se alinean con los indicadores de desarrollo sostenible en el ámbito rural de Cuba y la Agenda 2030 y los ODS, así como al plan del Estado "Tarea Vida" (CITMA, 2017). Los resultados y las mencionadas aplicaciones se presentan en dos publicaciones indexadas del grupo 1, con FI de 3.31 (Energy Policy) y 2.077 (Energies), en 3 publicaciones de grupo II, en 2 publicaciones en revistas del grupo 3, así como dos tesis doctoral y 5 tesis de maestría.

La contribución a la mejora de la calidad de vida desde la energización rural con visión de desarrollo sostenible presenta limitaciones a nivel internacional. Los enfoques más extendidos fragmentan su integralidad, separando el proceso en dos aristas (González, 2017): uno trata la electrificación como la dotación del servicio básico y el otro asume la electrificación como pivote de un modelo de desarrollo sostenible a escala local. En esta propuesta se ilustran las bases conceptuales que conforman al modelo para el apoyo a la toma de decisiones "SURE" (Cherni *et al.*, 2007, 2017; Olalde *et al.*, 2016a,b) y el "procedimiento para la contribución a la mejora de la calidad de vida desde la energización rural" PEMAR (González, 2018), en el proceso de energización y su imbricación con el proceso inversionista desde su planificación física hasta el uso final de la energía.

Uno de los aspectos novedosos en el modelo SURE lo constituye la creación función estructurada para los 5 recursos de la comunidad respecto a las opciones tecnológicas energéticas (C_j , $j = 1, \dots, 5$), donde X_j representa un juego separado de factores para cada función de cada recurso de la comunidad. Cada factor tiene un rango de valores entre 0 y 1, donde 0 refleja ningún efecto positivo o resultado de la alternativa energética "i" en el recurso "j", y 1 expresa su efecto más elevado, ver ecuación 1. En otros términos, la medida ideal y máxima de impacto positivo que una comunidad puede lograr es 1 (Cherni *et al.*, 2007):

$$C_j(A_i) = \frac{1}{1 + e^{-a_j X_j(A_i)}}, \quad (j = 1, \dots, 5; i = 1, \dots, n), \quad (1)$$

donde $C_j(A_i)$ representa la evaluación o impacto de determinada "i" alternativa energética (A_i , $i=1, \dots, n$) contra el recurso "j",

$j=1, 2, \dots, 5$), y "1" indica el recurso físico, "2" el financiero, "3" el natural, "4" el social y "5" el recurso humano); $C_j(A_i)$ toma los valores dentro del intervalo (0-1), e indica como la opción energética "i" impacta al capital o recurso "j" ("0" es el valor más negativo de la opción energética "i" evaluada en "j", y "1" indica el mayor impacto positivo posible en la evaluación); X_j representa el número de factores que integran a cada recurso "j" (por ejemplo, para el recurso natural, los factores son agua, aire, paisaje y flora y fauna); $X_j(A_i)$ representa los efectos de "i" alternativa energética en cada factor del correspondiente recurso de la comunidad "j". Finalmente, a_j es un parámetro matemático de escalado que normaliza, en un intervalo común para todos los recursos $[-b, b]$, los efectos de una "i" alternativa energética a través de todos los recursos para que estos puedan ser comparados. Por lo tanto, "b" es el más largo valor absoluto que abarca todos los valores de los recursos, el cual se usa para estandarizar la función C_j .

El sistema le permite al decisor evaluar el efecto que, los nuevos sistemas energéticos que operan, podrían tener en cada recurso poseído por la comunidad; cuantifica los posibles efectos de las tecnologías en los diferentes recursos; la condición existente de los recursos; su posible mejora con la aplicación de energía; propone un ordenamiento de las opciones tecnológicas y determina el impacto global de emisiones evitadas de CO_2 de la tecnología seleccionada como ganadora mediante el análisis del ciclo de vida (Serrano, 2013).

Otro elemento novedoso es que se adecua el método de programación por compromiso en una ecuación que define estructuralmente los cinco recursos de la comunidad con relación a las opciones tecnológicas energéticas y el cual tiene

como meta minimizar el vacío o espacio entre el posible valor máximo del recurso de cada comunidad y el valor que podría obtener a través de la aplicación de una tecnología energética lo cual se ilustra mediante la ecuación 2 (Cherni *et al.*, 2007):

$$\min \left[\sum_{i=1}^5 w_i^p f^p(1 - \text{Recurso}_i) \right]^{1/p} \quad (2)$$

donde $\text{Recurso}_i = g_i$ (alternativa energética j); $i = 1, \dots, 5$; $j = 1, \dots, n$ y la función $f(1 - \text{Recurso}_i)$ representa la diferencia entre cada recurso por cada posible alternativa energética j , y sus máximos posibles valores "1"; W_i son los pesos de ponderación que deciden los que toman la decisión y g_i es la función que describe la influencia de las diferentes alternativas j en cada uno de los 5 recursos de la comunidad. Por lo que la fórmula 2 captura dinámicamente la relación entre los recursos que la población posee cuando la energía llega a la comunidad.

Al igual que SURE, el procedimiento PEMAR está concebido para una zona no interconectada (ZNI), y es aplicable a zonas rurales electrificadas de forma parcial, donde no se han logrado niveles exitosos en la contribución energética desde FRE para la mejora de la calidad de vida (González *et al.*, 2017; González, 2018). En la figura 1 se ilustra el "Procedimiento para la contribución a la mejora de la calidad desde la energización rural (PEMAR)" (González, 2018).

Como resultado de la aplicación del PEMAR, se obtiene el total de energía transferida en función comunitaria (ETT) la cual expresa la totalidad de kWh/año que fueron transferidos a la ZNI ya sea en funciones económicas como para el mejoramiento en los hogares y servicios públicos. En este sentido, una de las novedades científicas de este trabajo lo constituye la implementación de los indicadores de energía transferida en función del desarrollo económico (IET_{DE}) el cual se expresa en kWh/año/\$ y el indicador de consumo básico transferido (ICBT) para los hogares y servicios públicos el cual se enuncia en kWh/año/hog, según fórmula 3:

$$IET_{DE} = \frac{ET_{cfp}}{\Delta PM} \quad (3)$$

donde ET_{cfp} es la energía transferida que se deriva de:

$$ET_{cfp} = (ES_{DE(p)}) - (ES_{DE(b)}) \quad (4)$$

$ES_{DE(p)}$ se refiere a la energía servida en función del desarrollo económico en la fase de proyección (fase II del procedimiento) de la zona seleccionada. La $ES_{DE(b)}$ se refiere a la energía servida en función del desarrollo económico en la fase de diagnóstico (fase I de PEMAR). Ambos se expresan en kWh/año.

ΔPM es la variación de la producción mercantil que utiliza la llegada de la energía, expresada en \$. Para conocer si el comportamiento del IETDE es favorable o no, se establecen

rangos de evaluación comprendidos entre los valores de cero (0) a uno (1) y mayor que la unidad. A tales efectos, el IET_{DE} pudiera considerarse como un indicador que mide la intensidad energética utilizada para el desarrollo económico de la zona seleccionada.

Económicamente, es importante señalar que cuando los valores tiendan a cero (~ 0) indica que el incremento de la producción mercantil con la energía servida es casi nulo. Valores iguales a la unidad ($=1$) indican que el crecimiento de la producción mercantil es directamente proporcional a la energía servida para su uso en funciones productivas; y, si los valores son mayores que 1 (>1), indicarán que la producción mercantil disminuye de forma más proporcional a la energía que se dispuso para este sector, por lo cual no existe apalancamiento energético.

A los efectos del análisis se estima que, si los valores de la PM marginal superan el 50 % con respecto a la PM ideal por el incremento del rendimiento (y no producto de las variaciones en ha cultivadas y precios) el comportamiento será favorable. Por el contrario, valores por debajo de 50 % de la PM ideal indicarán que el comportamiento del crecimiento económico no es favorable.

Por otro lado, el indicador de consumo básico transferido en los hogares "ICBT" se establece para un rango normalizado de 0 a 1 y representa una evaluación de la mejora en el servicio de electricidad que recibe cada hogar con respecto a la línea base, lo cual puede constituir otro aspecto a tener en cuenta por parte de los decisores. Se toma en cuenta el índice de consumo mensual para las viviendas en regiones urbanas establecido por la ONURE (que sería el valor ideal a alcanzar por cada hogar en una comunidad rural) y su relación con el servicio real que se recibe en los hogares de la comunidad, según fórmula 5:

$$ICBT = \frac{ET_h}{\#hog(p)} \quad (5)$$

donde ET_{hsp} es la energía transferida en función de los hogares y se determina:

$$ET_{hsp} = (ES_{h(p)}) - (ES_{h(b)}) \quad (6)$$

$ES_{h(p)}$ se corresponde con la energía servida en función de los hogares en la fase II del procedimiento y la $ES_{h(b)}$ identifica este concepto, pero en la fase I del procedimiento. Ambos se expresan en kWh/año.

$\#hog(p)$ se corresponde con el número de hogares proyectado ya que en esta fase se precisa conocer el verdadero impacto de la llegada de la energía considerando el flujo migratorio que se haya producido con relación a la línea base.

Calificar el ICBT reviste un papel importante. Se prevé el valor de consumo mensual idóneo que establece la ONURE

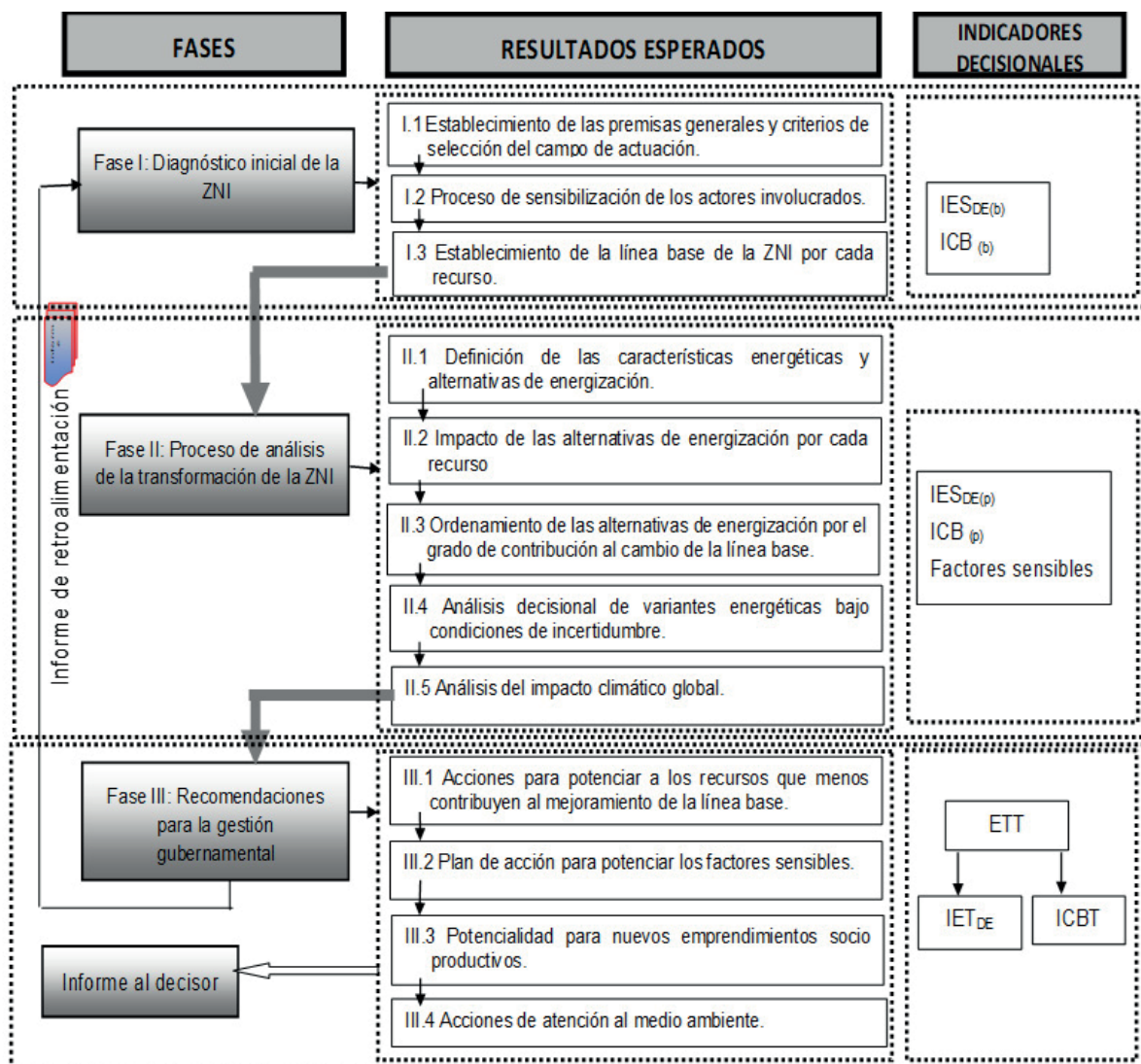


Fig. 1. Procedimiento para la contribución a la mejora de la calidad desde la energización rural (PEMAR).

que asciende a 186 kWh/día/hog. Este indicador constituiría el valor máximo posible a lograr para una vivienda rural, su valor mínimo sería la ausencia de electricidad, es decir, 0 kWh/día/hog y el valor a observar estaría dado por la proyección que prevea el procedimiento para el apoyo a la toma de decisiones en esta fase. Igualmente se establecen rangos de evaluación comprendidos entre los valores de cero (0) a uno (1). De forma específica, los valores mayores que 1 (>1) indicarían la opción de realizar un análisis con vista a un estudio de eficiencia energética e indicar, en caso necesario, la derivación de este excedente energético hacia el sector productivo y/o de servicios, creando nuevas capacidades de ser posible.

La retroalimentación del procedimiento se refleja en el informe denominado "Control de la contribución al mejoramiento de la calidad de vida del proyecto inversión energético". Basado en este informe se establece una nueva línea

base para la ZNI, la cual servirá para el análisis detallado (por cada dimensión) de la contribución energética, de tecnologías que usan las FRE a la sostenibilidad del desarrollo visto en la mejora de la calidad de vida. También se podrán evaluar los logros o limitaciones de la gestión institucional en el desarrollo energético local y su impacto en la zona y el territorio. Por otro lado, el informe de resultado de la aplicación del procedimiento (informe al decisor), constituirá únicamente un resumen ejecutivo con el ordenamiento de las alternativas de energización y un curso de acciones que permitan gestionar el proceso inversionista energético y su impacto en la calidad de vida.

En conclusión, la herramienta SURE evalúa posibles soluciones de proyectos de energización rural a partir de valores cuantitativos y cualitativos obtenidos a partir del impacto que se predice de las posibles alternativas energéticas valoradas

en los cinco recursos de la comunidad: recurso social, humano, físico, financiero y natural. Se introducen el concepto de ciclo de vida y su evaluación (LCA), observándose la relación existente entre el LCA y las emisiones de gases de invernadero. La integralidad del procedimiento PEMAR se logra con el análisis y evaluación de todas las dimensiones del desarrollo. La institucionalidad y conexión con la toma de decisiones se favorece tanto con la fase III, así como a partir de la propuesta los indicadores IETDE e ICBT. Estos indicadores permiten discernir dicho aporte, en función de las características de los sectores rurales. Su mecanismo de retroalimentación, contribuye a delimitar la real contribución por cada uno de los factores definidos en cada dimensión del desarrollo sostenible, a partir de parámetros que se adaptan al ámbito rural cubano.

Referencias bibliográficas

- Cherni J., Diner I., Henao F., Jaramillo P., Smith R., Olalde R. (2007) Energy supply for sustainable rural livelihoods. A multi-criteria decision-support system. *Energy Policy*, volume 35, Issue 3, March, pages 1493-1504, UK, Available from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421506001662>
- Cherni J, Olalde R., Serrano L., Henao F. Urbina A. (2016) Systematic Assessment of Carbon Emissions from Renewable Energy Access to Improve Rural Livelihoods. *Journal Energies* (19961073). Dec2016, Vol. 9 Issue 12, p1-19. 22p. 8 Charts, 3 Graphs. ISSN:19961073, Available from: <http://www.mdpi.com/1996-1073/9/12/1086/manuscript>
- González, T., Olalde, R., Sánchez, Inocencio R., Cherni, J. (2017) La inversión energética en el desarrollo rural y agrícola en Cuba. Caso de estudio comunidad "4to Congreso", Sancti Spiritus. *Revista Centro Agrícola*, 48 (4), 13-21. Cuba. Disponible en [http://cagricola.uclv.edu.cu/index.php/es/volumen-48-2017/numero-](http://cagricola.uclv.edu.cu/index.php/es/volumen-48-2017/numero-4-2017/6417-la-inversion-energetica-en-el-desarrollo-rural-y-agricola-en-cuba-caso-de-estudio-comunidad-4to-congreso-sancti-spiritus)

4-2017/6417-la-inversión-energética-en-el-desarrollo-rural-y-agrícola-en-cuba-caso-de-estudio-comunidad-"4to-congreso"-sancti-spiritus

- González, T. (2018) Procedimiento para la contribución a la mejora de la calidad de vida desde la energización rural (PEMAR)". Tesis doctoral, Universidad Central "Marta Abreu de Las Villas".
- Olalde R., González T., Herrera L, Cherni J, Urbina A. (2016a) Innovación tecnológica energética en comunidades rurales. Caso de estudio comunidad de "Manantiales", Villa Clara, Cuba. *Revista Centro Agrícola*, 43(3): pp. 13-21; julio-septiembre, 2016. Disponible en <http://cagricola.uclv.edu.cu/index.php/es/volumen-43-2016/numero-3-2016/807-innovacion-tecnologica-energetica-en-comunidades-rurales-caso-de-estudio-comunidad-de-manantiales-villa-clara-cuba>
- Olalde R., González T., Herrera L, Cherni J. (2016b) La introducción de tecnologías energéticas y su impacto en el recurso social, natural y financiero en comunidades rurales agrarias. Caso de estudio comunidad rural "4to congreso", en la provincia de Sancti Spiritus, Cuba. *Revista Científica de las Fuentes Renovables de Energía, Eco Solar*, Vol. 55, enero-marzo. Disponible en <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/ecosolar/Ecosolar55/HTML/articulo06N.html>
- Serrano, L. (2013) Computing tools applied to the analysis of performance and sustainability of photovoltaic systems. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cartagena.

AUTOR PARA LA CORRESPONDENCIA

Taymi González Morera. Carretera a Camajuaní, km 6. Santa Clara, Villa Clara. CP: 54830. Correo electrónico: taymigm@uclv.edu.cu