

CONTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA AL DESARROLLO DE COMUNIDADES AISLADAS NO INTERCONECTADAS: UN CASO DE APLICACIÓN DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS Y LOS MEDIOS DE VIDA SOSTENIBLES EN EL SUROCCIDENTE COLOMBIANO

CONTRIBUTION OF THE ENERGY AT DEVELOPMENT OF ISLATED COMMUNITIES IN NOT INTERCONNECTED ZONES: A CASE OF APPLICATION OF THE SYSTEMS DYNAMICS AND SUSTAINABLE LIVELIHOODS IN THE COLOMBIAN SOUTHWEST

CARLOS FRANCO

Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, cjfranco@unal.edu.co

ISAAC DYNER

Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, idyner@unal.edu.co

SANTIAGO HOYOS

Facultad de Ingenierías, Universidad de Antioquia, shhoyos@udea.edu.co

Recibido para revisar Marzo 14 de 2007, aceptado Agosto 01 de 2007, versión final Agosto 27 de 2007

RESUMEN: En este artículo se aborda el problema de la energización rural de las zonas no interconectadas de Colombia, usando los medios de vida sostenible para medir el estado de las comunidades aisladas antes y después de la energización, se utiliza dinámica sistemas para la simulación y evaluación de políticas energéticas. El caso de aplicación es en las comunidades indígenas del municipio de Jambaló en el departamento del Cauca.

PALABRAS CLAVE: Dinámica de sistemas, energización rural, medios de vida sostenibles.

ABSTRACT: This paper focuses on the problem of rural energization in isolated regions of Colombia (Not interconnected zones - NIS). Using the sustainable livelihood approach we assess the situation of the isolated communities before and after energization. System dynamics is used for simulation and evaluated energy policies. We apply our approach to the municipality of Jambaló in the Cauca department.

KEY WORDS: Systems Dynamic, rural energization, sustainable livelihood.

1. INTRODUCCIÓN

La energización se concibe como soporte a las actividades productivas, domésticas y comerciales de las comunidades.

El propósito es la apropiación y mejoramiento de las condiciones de vida, bajo la preservación del medio ambiente.

En consecuencia la energización es considerada como un componente estratégico dentro de un marco de trabajo para el desarrollo [1] y [2]

Aproximadamente dos mil millones de personas en el mundo carecen del servicio de electricidad. En Colombia es alrededor de 1.14 millones de habitantes [3] y la mayoría se encuentra en zonas aisladas. Aproximadamente el 4% de la población colombiana no está conectada al sistema de transmisión eléctrica nacional [3]. Dicha población ocupa el 66% del territorio nacional. Las zonas no interconectadas (ZNI) están definidas [4] y [5] como aquellas que no tienen acceso al servicio de electricidad a través del Sistema de Interconexión Nacional (SIN). Generalmente su interconexión es financieramente inviable por falta de economías de escala [6] y [7].

El servicio de energía en estas zonas es caracterizado por baja cobertura (34% de la población), reducido número de horas de servicio (8 horas en promedio), baja calidad (confiabilidad y disponibilidad), altas pérdidas técnicas y precios altos, cultura del no pago y usuarios con muy bajo nivel de ingresos [8]. En estas zonas existe una capacidad instalada de 102 MW de los cuales 97 MW corresponden a generación autónoma convencional (principalmente plantas diesel), 4.7 MW a pequeñas centrales hidroeléctricas y alrededor de 100 kW a paneles solares fotovoltaicos [3].

El problema de energización ha sido abordado de manera no sistemática con relación a la selección e implementación de alternativas energéticas por las entidades gubernamentales encargadas de la evaluación de proyectos y asignación de recursos financieros para la energización de ZNI.

Los análisis correspondientes para la evaluación del efecto del diseño de políticas energéticas han cambiado con el tiempo de considerar solo aspectos financieros, políticos y ambientales [9,10,11,12] a la incorporación sistemática de otras dimensiones como son social, físico y humano, gracias a los aportes académicos de universidades en el desarrollo de herramientas multiobjetivo para la selección apropiada de tecnologías de energización y la utilización de simulación para analizar el efecto de dicha tecnología en el desarrollo de las comunidades

[13,14,15,22,23,28,52,53,54]. Sin embargo se ha encontrado en la literatura la ausencia de herramientas de simulación aplicadas a casos reales de las ZNI con las cuales se pueda analizar las tendencias de desarrollo para las comunidades bajo algunos escenarios posibles de intervención Estatal hacia la energización.

Este artículo describe un modelo de simulación en dinámica de sistemas (DS) que integra la filosofía de los medios de vida sostenibles para medir el estado de las comunidades con las fuentes de energía renovables como alternativa de suministro de electricidad a una ZNI del suroccidente colombiano, con el propósito de soportar la evaluación de políticas energéticas.

2. ESTADO DEL ARTE

El problema de la energización rural ha sido estudiado principalmente en Colombia por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), el Instituto de Planeación y Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE), ambos adscritos al Ministerio de Minas y Energía, así como, por la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de los Andes.

La UPME contrató con una firma consultora en 1999 el diseño de un plan estructural, institucional y financiero para el suministro de energía a las ZNI, con la participación de las comunidades y el sector privado [16,17,18,19]. El plan incluye caracterización de la demanda de energía, la clasificación de los centros poblados y estimación de los costos del suministro de energía, así como también el desarrollo de un sistema de información geo-referenciado.

Por su parte el IPSE diseñó una metodología para la formulación, evaluación y priorización de proyectos de soluciones energéticas para las ZNI [20].

El Instituto de Energía de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín ha desarrollado herramientas de planeación y metodologías para la energización rural, para afrontar los problemas de expansión de potencia, considerando múltiples objetivos y algoritmos genéticos [13] y [14].

La Universidad de los Andes ha realizado investigaciones relacionadas al servicio de agua

y suministro de energía en regiones rurales aisladas, considerando la sostenibilidad de las soluciones y se ha focalizado sobre el mejoramiento de la productividad y el bienestar de las poblaciones [21] y [22].

Sin embargo las investigaciones anteriores, no han tratado el impacto global de la energización sobre las comunidades, al centrarse sobre aspectos financieros, políticos y ambientales de desarrollo, dejando a un lado las dimensiones natural, humana, económica y social.

Con relación a lo anterior, la Universidad Nacional de Colombia ha estado trabajando desde septiembre de 2002 en asocio con el Imperial Collage London, en el proyecto de investigación “Renewable energy for Sustainable Rural Livelihoods” (RESURL)” que tiene como objetivo principal, identificar, medir y evaluar los factores que contribuyen o obstaculizan el desarrollo energético eficiente en zonas rurales usando una perspectiva multidisciplinaria y participativa [23,28,52,53,54].

Con este marco de trabajo Dyner *et al* en [1] desarrollaron un modelo en DS que explica la contribución de la energía a los medios de vida rurales sostenibles de una forma global y generalizada [53].

Expertos en el tema, marcan la importancia de nuevas políticas para un futuro energético sostenible [24,25,26], donde las fuentes de energía renovables, el comportamiento humano, los costos económicos, la aceptación social, la infraestructura, la seguridad y principalmente los incentivos para la generación limpia de electricidad y desarrollo de comunidades, jugarán un rol importante en un futuro cercano.

El modelo aquí presentado, está basado en la investigación conducida por Dyner *et al* en [1] que emprende sistemáticamente la multidimensionalidad del problema de energización rural y sus efecto sobre el desarrollo. Aquí se mejora el modelo desarrollado por Dyner *et al* en [1] y se incluye una aplicación sobre una ZNI de Colombia.

3. MÉTODOS Y METODOLOGÍAS

A continuación se presenta la información correspondiente a la justificación de los métodos y herramientas utilizadas en la formulación de una solución al problema de evaluación de políticas para la energización rural de ZNI en Colombia, tomando en cuenta el estado de la comunidad antes y después de la energización.

Conceptos Básicos Sobre Medios de Vida Sostenible (MVS)

El concepto de MVS fue propuesto en el reporte del Grupo Consultivo de la comisión sobre ambiente y desarrollo (WCED de sus siglas en inglés), con base en los vínculos entre las políticas de desarrollo, la pobreza y la degradación del medio ambiente [27].

Los MVS son una herramienta para establecer las metas, posibilidades y prioridades del desarrollo y acelerar la erradicación de la pobreza. Los MVS responden dos interrogantes fundamentales: ¿Qué mecanismos institucionales permiten a algunas personas pobres lograr un medio de vida sostenible y seguro cuando otros fracasan? ¿Qué políticas y estrategias pueden servir de apoyo a las personas que viven en la pobreza? [27]. El valor agregado de este concepto y metodología es que se enfoca a la reducción de pobreza de una forma sostenible, ya que pretende construir un vínculo entre las macropolíticas y las microrealidades, a partir de un enfoque integral de los temas ambiental, social y económico, con miras a obtener una sostenibilidad en el mediano y largo plazo.

El comité consultivo sobre medios de vida rurales sostenibles o inglés Sustainable Rural Livelihoods Advisory Committee (SRLAC), con el apoyo del Instituto de estudios para el desarrollo o inglés Institute of Development Studies (IDS) elaboró una herramienta conocida como el marco de los medios de vida sostenibles [27]. Este marco incluye un número de elementos: contexto de vulnerabilidad, activos o capitales (ver Figura 1), estructuras y procesos de transformación, estrategias y logros en materia de medios de vida. Este artículo se

enfoca sobre los activos o capitales para llevar una medida del estado inicial y futuro de las comunidades antes y después del plan de energización.

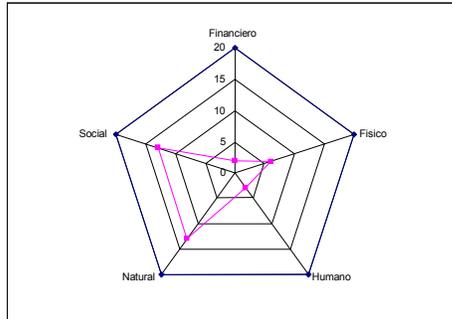


Figura 1. Pentágono de capitales para la comunidad indígena Páez del municipio de Jambaló en el departamento del Cauca.

Figure 1. Pent of capital for aborigine community Paez in the Municipality of Jambaló in the Cauca department

La descripción de los capitales es la siguiente [27]:

Capital humano: representa el conocimiento, capacidades laborales, aptitudes y salud.

Capital social: se refiere a las redes sociales y organismos políticos y civiles.

Capital natural: considera la tierra, los bosques, el mar, el agua, la calidad del aire y la biodiversidad.

Capital físico: incluye la infraestructura y bienes de producción

Capital financiero: consiste en el dinero para el consumo y producción, ahorros, capitales y préstamos.

Un alto valor para un capital (cercano a 20) significa que la comunidad mejoró significativamente con respecto a este capital. Esto se ilustra en la Figura 1. [27, 28, 29].

Metodología para la valoración de capitales

En [29] se propone una valoración cualitativa con una aproximación cuantitativa para cada uno de los capitales de los medios de vida sostenibles, adaptada para este caso al rango de valores presentados a continuación.

Insostenible: $0 \leq \text{capital} < 4$

Restringido: $4.0 \leq \text{capital} < 8$

Sostenible: $8.0 \leq \text{capital} < 12$

Progresivo: $12.0 \leq \text{capital} < 16$

Abundante: $16 \leq \text{capital} \leq 20$

Con el rango de valoración anterior y el análisis de los resultados de la encuesta realizada en el proyecto RESURL [23] a la ZNI del departamento del Cauca objeto de interés en este artículo, se obtuvo el valor inicial de los capitales que definen el estado actual (en 2005) de la comunidad. Luego con los diagramas de flujos y niveles que implementan los diagramas causales que se observan en las figuras siguientes de esta sección se obtuvo un valor del capital dentro de los límites establecidos para cada instante de tiempo, determinando así el estado final de la comunidad en términos de MVS a través de la variación en el tiempo de los capitales como efecto del proceso de energización y el desarrollo de actividades domésticas, comerciales y productivas que lo acompañan, tal como se observa en la presentación de resultados al final de este artículo.

Metodología para la simulación

Como herramienta de simulación se escogió dinámica de sistemas dado que permite modelar problemas sociales [30], así mismo permite construir escenarios basados en hipótesis de información deficiente, facilitando la integración de juicios que conduzcan a superar algunos problemas de facilidad o disponibilidad de datos, como es el caso de información sobre las ZNI de Colombia.

Las tasas (ecuaciones diferenciales de primer orden) sirven como representación de la migración, los nacimientos, las muertes, el flujo de dinero, y la utilización de recursos entre otras.

Los grandes agregados en ocasiones muestran, durante largos periodos de tiempo, comportamientos que pueden aproximarse a funciones continuas simples, como son las variables población, cantidad de recursos y acumulación de capitales, las cuales son utilizadas en este caso de estudio.

4. MODELO

En esta sección se presenta la conceptualización del problema mediante un diagrama causal que muestra las variables más relevantes que intervienen en la evaluación de políticas de energización rural.

El diagrama siguiente modificado para este caso de [1] y [2], describe las relaciones principales entre demanda de energía, suministro de energía y su efecto sobre el desarrollo y el medio ambiente Como se puede observar en la Figura 2, el suministro de energía contribuye al desarrollo de comunidades pero al mismo tiempo daña el medio ambiente (contribución negativa al desarrollo).

R1 es un ciclo de realimentación de refuerzo de suministro de energía, (desarrollo y demanda de energía): la energía juega un papel importante sobre el bienestar humano [31,32,33,34]. La hipótesis dinámica es: a más desarrollo, más demanda de energía.

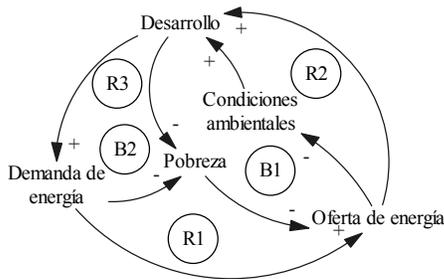


Figura 2. Diagrama causal del problema de desarrollo de las comunidades rurales aisladas no interconectadas.

Figure 2. Causal diagram of the development issue of isolated rural communities in not interconnected zones.

El ciclo de refuerzo R2 (desarrollo, pobreza y suministro de energía) se encuentra limitado por las condiciones ambientales impuestas para el desarrollo – ciclo de balance (B1) (desarrollo, pobreza, oferta de energía, condiciones ambientales) y (B2) (desarrollo, demanda de energía, suministro de energía, condiciones ambientales).

A continuación se presenta un conjunto de modelos originales de los autores en relación

con la representación de los MVS de comunidades aisladas y el proceso de energización asociado.

Una hipótesis dinámica es presentada sobre el proceso de energización en la Figura 3. Esta muestra como el suministro de energía (capacidad instalada) intenta satisfacer la demanda (consumo de electricidad) bajo el arquetipo de búsqueda de una meta (Sterman, 2000), donde retardos en la información, evaluación y ejecución de los proyectos de energización, producen un comportamiento oscilatorio, creando un crecimiento balanceado entre la demanda y la oferta, y entre el capital financiero y las actividades productivas.

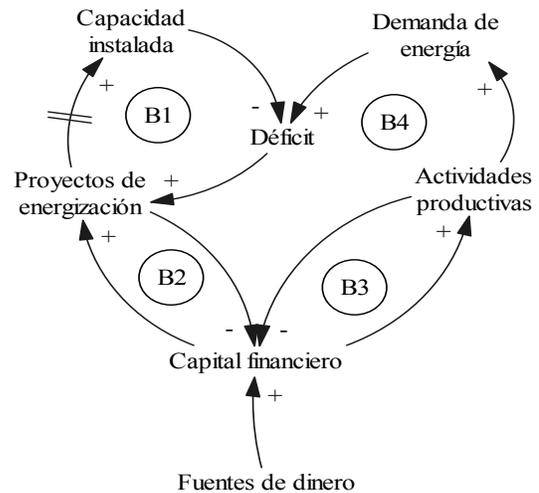


Figura 3. Diagrama causal del proceso de Energización

Figure 3. Causal diagram of the energization process

A continuación se describen, dos de los diagramas causales correspondientes a los capitales de los medios de vida sostenibles para la valoración del nivel de desarrollo de una comunidad rural aislada como efecto del proceso de energización.

Capital financiero

El capital financiero son los recursos financieros que las poblaciones utilizan para lograr sus objetivos en materia de medios de vida. Las dos

fuentes principales de capital financiero son: las partidas disponibles o ahorros (dinero en metálico, depósitos bancarios o activos líquidos como el ganado o las joyas) o créditos; y las entradas regulares de dinero (pensiones u otros pagos realizados por el estado y remesas).

De la definición de capital financiero, presentada en el párrafo anterior, se extrajeron las variables y relaciones más relevantes que lo componen, sintetizadas a través del modelo causal que se observa en la Figura 4.

La inversión del estado juega un papel importante en el incremento del nivel de capital financiero que una comunidad puede tener para un determinado tiempo.

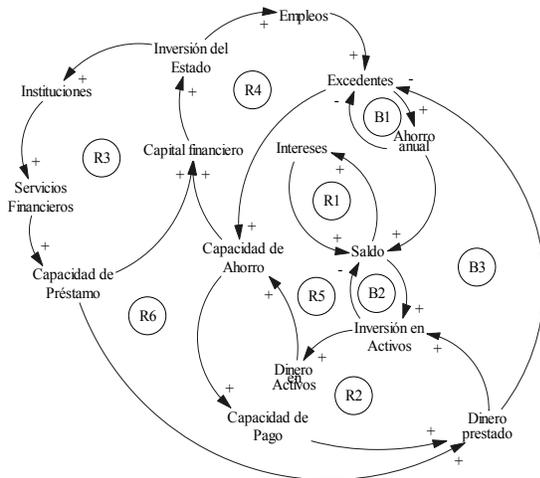


Figura 4. Diagrama Causal para el Capital Financiero

Figure 4. Causal diagram for the financial capital

Esta inversión por ejemplo, si se hace sobre el desarrollo de actividades productivas, generará una cantidad de empleos directos e indirectos con los cuales las familias de una comunidad en particular, obtienen mayores ingresos, y bajo el supuesto de una cantidad de egresos constantes, se obtienen excedentes que pueden ser utilizados para la generación de dinero, a través del ahorro en cuentas bancarias (para estas comunidades es común encontrar cooperativas de ahorro y préstamo local, ó bancos de desarrollo agrario de ámbito nacional).

Gran parte del ahorro y préstamo que realizan las familias en comunidades aisladas, está dirigido a la adquisición de activos líquidos

como los animales y tecnologías para la producción. Luego se considera en este caso las dinámicas que describen dicho proceso de adquisición de bienes, a través del desarrollo de capacidades para el ahorro y préstamo en general.

Capital humano

El capital humano representa las aptitudes, conocimientos, capacidades laborales y buena salud que permiten a las poblaciones entablar distintas estrategias y alcanzar sus objetivos en materia de medios de vida.

En el diagrama que se muestra a continuación en la Figura 5, se observa la dinámica entre las variables que conforman el capital humano, siendo estas las más relevantes para este trabajo.

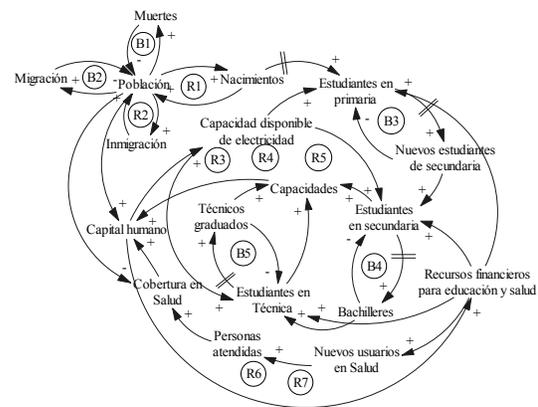


Figura 5. Diagrama causal para el capital humano

Figure 5. Causal diagram for the human capital

Los ciclos de realimentación de refuerzo R3, R4, y R5, muestran las diferentes capacidades para la apropiación y mantenimiento de tecnologías, que se van acumulando desde la educación primaria hasta un estudio técnico, proporcionando mayor disponibilidad de electricidad. Nótese retardos de tiempo entre los diferentes niveles educativos que han sido considerados.

Similar al caso anterior, en los ciclos de realimentación de refuerzo R6 y R7 se muestra una mayor participación de la comunidad en el acceso de recursos financieros para la educación y la salud, dado las capacidades productivas

desarrolladas con la educación de sus pobladores.

Los ciclos de balance B3, B4 y B5 garantizan la continuidad de un estudiante a lo largo de su vida académica para la educación primaria, secundaria y técnica. Luego el incremento del capital humano es función de las capacidades desarrolladas y la cobertura en salud, tal como indica su definición. Por otro lado, la pérdida de capital humano está determinada por la cantidad de habitantes que dejan la comunidad, bien sea por su muerte o por su migración a otros sitios. Todo esto sintetizado en la población.

5. CASO DE APLICACIÓN

La ZNI del suroccidente colombiano seleccionada para este caso de aplicación, está conformada por las veredas La Marqueza, La Esperanza, Baendilla y Loma Larga en el municipio de Jambaló departamento del Cauca, zona de la comunidad indígena Paéz con 370 habitantes [35] y [36].

El departamento del Cauca está interconectado con una línea de 115 kV al Sistema de Interconexión Eléctrica Nacional, y todas sus cabeceras municipales incluyendo Jambaló poseen circuitos de distribución de electricidad a 34.5 kV, 13.2 kV administrados y operados por Centrales Eléctricas del Cauca CEDELCA. Aunque las veredas objeto de estudio en este trabajo cuentan con electrificación desde hace más de 10 años, las familias analizadas no tienen este servicio.

El tamaño de la muestra fue de 36 habitantes distribuidos así: 12 en la vereda Baendilla, 6 habitantes en la Esperanza, 12 en la Marqueza y 6 en la localidad de Loma Larga; llegando a ser una muestra representativa en comparación con los 370 habitantes que conforman dichas localidades [35]. En la Figura 6 se observa el detalle geográfico de la zona de aplicación.

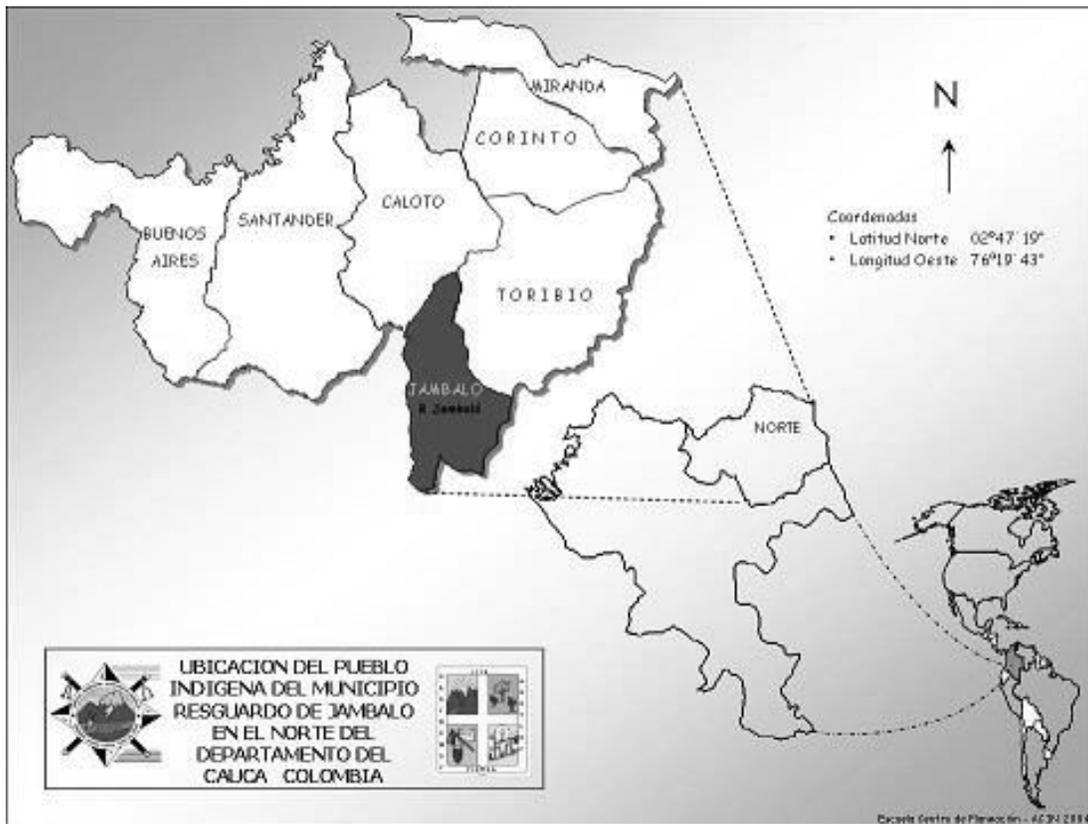


Figura 6. Municipio de Jambaló en el departamento del Cauca [37]
Figure 6. Municipality of Jambalo in the Cauca department [37]

Condiciones de pobreza

Según el informe final de RESURL II, tanto el índice de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) como el índice de línea de pobreza, muestran más de un 80% de personas pobres para este caso de aplicación [35].

En términos de los capitales asociados a los medios de vida sostenibles explicados en la sección anterior se encontró para dichas localidades lo siguiente:

Capital financiero

Las familias entrevistadas conservan la actividad agrícola. Hay algunas actividades comerciales; las necesidades de alimento son cultivados por la familia y el resto de la tierra no es utilizada.

Los productos comerciales son el café y el fique, otros productos como el frijol, el maíz, la yuca, el plátano, entre otros, se comercializan después del consumo familiar. Todos estos productos tienen precios inestables y son mal pagos por los comerciantes; los indígenas llevan sus productos agrícolas y especies menores, a las cabeceras municipales, pero muy pocos llevan sus productos a las grandes ciudades [35].

Cerca del 90% de las familias objeto de este estudio, no tiene opciones de crédito; carecen de accesos a bancos o cooperativas.

Capital humano

El nivel educativo es bajo: alrededor del 36% carece de estudios, el restante 61% cursó primaria y apenas un 3% tiene bachillerato. Más del 90% de los encuestados consideran muy importante el acceso a la educación.

En cuestión de salud, cerca del 60% de los encuestados carece de acceso a este servicio y alrededor del 75% de estos, se declaran insatisfechos con dicho servicio.

Capital social

Muchos Cabildos indígenas del Cauca se organizan en asociaciones. Las asociaciones son entes públicos de carácter especial y deben responder ante el Estado y la comunidad por los

recursos que manejan, como es el caso de la Asociación de Cabildos Indígenas del norte del Cauca, ACIN [37].

Las actividades comunitarias han llevado algunos proyectos exitosos como por ejemplo los hogares de bienestar para cuidar los niños, jornadas de vacunación y programas ambientales. Los proyectos relacionados con energía y acueducto han fracasado.

Las principales actividades realizadas en forma comunitaria son: recolección de agua, cultivo de la tierra, construcción de viviendas y de vías. Una actividad tradicional de los indígenas es la minga o expresión de origen Quechua que designa una forma de trabajo colectivo.

Todos los líderes entrevistados dicen que las mujeres participan en las decisiones comunitarias y es considerado importante su participación en la toma de decisiones.

Capital natural

La propiedad territorial, se ha constituido en un activo patrimonial para las clases terratenientes y no en un activo de producción. Estas han sido explotadas deficientemente. Áreas que deberían dedicarse a la producción agrícola, se utilizan en labores de ganadería extensiva, afectando los niveles de producción [38].

La comunidad indígena desarrolla programas de recuperación de tierras que estaban deforestadas por la comercialización de madera; y de protección del medio ambiente, del agua y reconstrucción de tradiciones de siembra, como la cosecha de maíz [39].

Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas [40] esta región presenta vientos con una velocidad promedio de 2 m/s a 10 m de altura y un nivel de radiación solar que está alrededor de 4.0 kW/m² por 6 horas al día.

En esta zona de aplicación, cerca del 85% de las familias tiene aves (gallinas, patos) para autoconsumo, alrededor de un 30% cuenta con ganado vacuno; alrededor del 50% posee caballos. En más de la mitad de los hogares tienen mascotas (perros, gatos). La tenencia de otras especies (conejos, cerdos) es inferior al 10%.

En cuanto a producción agrícola, los principales productos son: plátano (85.7%) y el maíz

(68,3%), de estos, el 60% se vende dentro de la comunidad y el resto se tiene para autoconsumo. Más del 65% cultiva fríjol y yuca. Un 58.8% tiene caña de azúcar, de estos, una tercera parte la vende dentro de la comunidad y el resto lo tiene para autoconsumo.

Capital físico

En ocasiones se ha emprendido la construcción de diversas obras que debido a inconvenientes tales como limitaciones presupuestales, carencia de habilidades técnicas y malas condiciones climáticas, no han sido concluidos [40].

En el departamento del Cauca la principal vía de comunicación es la carretera Panamericana que atraviesa algunas cabeceras municipales. Sin embargo, la mayoría del territorio es aislado por ubicarse en la parte alta de las montañas o en profundas depresiones.

En Jambaló la cifra de familias con vivienda propia es del 70%, un 10% viven en casas arrendadas, un 10% en casas de la familia y otro 10% en casas de la comunidad. Predominan las viviendas de dos habitaciones (63%). El piso es en tierra (80%), en cemento (19%); el 63% de las casas tiene paredes de tierra o bahareque, mientras que un 27% son de ladrillo o concreto. El techo es de eternit (33%), láminas de zinc (25%), teja de barro (25%) o paja (9%).

Los pobladores de las veredas estudiadas, consideran que los servicios más importantes son la energía y el agua potable, le sigue la salud y el alcantarillado y por último, con un grado muy bajo de importancia, la educación [35].

Uso productivo y doméstico de la energía

Todos los pobladores en este municipio, dicen requerir energía para algún tipo de actividad. El principal uso sería iluminación (98.4%), seguido de radio (66.7%), televisión (47.6%), educación (33%) y salud (33%). Menos del 10% requiere energía para la cocción de sus alimentos, dada la tradición del consumo de leña y la demanda para otros usos es inferior al 3%.

La tercera parte de estos entrevistados está de acuerdo con usar el río para producir electricidad, pues consideran que traería beneficios a la comunidad. Los que se oponen

dicen que el río se contaminaría y esta es su fuente principal de agua.

En cuanto a los costos de adquisición, mantenimiento y reparación, alrededor del 90% de los entrevistados creen que el gobierno debería pagar los costos asociados a la infraestructura energética. El 46% cree que los usuarios deberían pagar por el consumo de energía, el 30% cree que debería ser pagado por el Gobierno, y el 17% que debería ser compartido entre el Gobierno y los usuarios.

6. CARACTERÍSTICAS DE LA SIMULACIÓN

El paso de simulación, fue establecido en un año, tiempo en el cual se obtiene una observación del estado de la comunidad en sus diferentes perspectivas y la implementación de proyectos y desarrollo de actividades al interior de la comunidad.

El horizonte de simulación seleccionado fue de 25 años, con el propósito de observar la evolución de las variables dentro de los cambios establecidos por la ley, por ejemplo varios ciclos regulatorios en cuanto a normas eléctricas se refiere; estabilización de ciclos dentro de la economía, aprehensión de conocimiento y desarrollo de habilidades para la vida productiva entre otras.

Con base en la metodología, el modelo y en el sistema soporte a la decisión SURE (Sustainable Rural Energy) desarrollados por RESURL para la medición de los capitales de una comunidad y la toma de decisiones en cuanto al proceso de energización [41] se obtiene el estado actual de las comunidades objeto de estudio.

El sistema soporte a la decisión SUREv1.5 entrega un conjunto de resultados ordenados, de forma gráfica y también tabulados; los cuales permiten seleccionar una tecnología dentro de un abanico de opciones según las potencialidades de la comunidad.

Para este caso de aplicación se encontró que la conexión a la red, una microcentral hidroeléctrica y la energía solar fotovoltaica se encontraban en competencia, quedando por fuera la opción más común en zonas aisladas como son los grupos autónomos convencionales (diesel) debido a sus grandes consecuencias

negativas para el medio ambiente, objeto articulador de la comunidad indígena Páez.

El suministro de energía con base en un sistema solar fotovoltaico sería limpio para el medio ambiente pero totalmente inapropiado para la comunidad en general, dado que la disponibilidad de la energía sería alrededor de 12 horas al estar complementada con un gran sistema de baterías. Además de ser una alternativa altamente costosa (\$US 4250 /kW y 0.3 centavos de dólar por kWh generado).

Dado que las familias analizadas en este caso de aplicación no cuentan con el servicio de electricidad y las veredas a las que pertenecen tienen este suministro por red de distribución a 13.2 kV, la alternativa más factible técnica y económicamente para llevar electricidad en este caso, es por medio de una extensión de red. Sin embargo la estructura del modelo de simulación se construyó de forma general siendo aplicable para cualquier tipo de fuente de electricidad.

Se consideraron tasas de incremento de demanda de electricidad de 4.5% al año [42] y tasa de crecimiento poblacional de 3.36%, para comunidades de la ZNI del suroccidente de Colombia y 6 habitantes por usuario [16].

La demanda no conectada y la demanda por conectar son jalonadoras de la oferta, la cual está determinada por el déficit entre la suma de estas dos y la capacidad disponible, bajo el condicionamiento de la disponibilidad de dinero y el costo por kW instalado. Se consideró además, una capacidad mínima de construcción, dadas las características técnicas de diseño para realizar la extensión de red. Todo lo anterior, está afectado por el retardo en la formulación, aprobación y ejecución del proyecto de electrificación.

La demanda de potencia para este caso de aplicación es igual a: Demanda = 36 familias analizadas * 0.23 kW por familia = 7.2 kW [43].

En la Tabla 1 se muestra el listado de elementos y su respectivo valor, requeridos para una extensión de red, considerando un km de distancia.

Tabla 1. Valor de elementos para extensión de red eléctrica a un km de distancia, a pesos constantes de marzo de 2007 [44]

Table 1. Value of the elements for a electrical net extended for a one kilometres of distance to current pesos for March 2007 [44]

Detalle	valor(\$)
Postes de 10m	\$ 1.737.686
Cable (2*ACSR#2) a \$825/m	\$ 2.340.557
Transformador de 10 kVA	\$ 1.844.075
Adecuación	\$ 750.397
Total equipos	\$ 6.672.714
Impuesto (16%)	\$ 1.067.634
Total equipos + IVA	\$ 7.740.348
Instalación y montaje	\$ 1.205.741
Total extensión de red a 1 km	\$ 8.946.089

La adecuación incluye: dos supenciones, tres referencias y dos tensores. La instalación y montaje es: \$ 212778 de los postes + \$851111 de la línea + \$ 141852 del transformador.

Precio por kW = \$ 8946089 = \$ 1.24 Millones.

No se consideran costos de administración, operación y mantenimiento de la red, dado que este rubro, al igual que la recuperación de la inversión están contemplados dentro de la tarifa que debe pagar el usuario, en cuyo caso es de \$ 403 por kWh [45].

Inversión_ en instalación X Usuario = \$312.000 de la acometida + \$56.741 de su instalación = \$ 0.37 Millones / familia [44].

Algunas fuentes de recursos para la electrificación de las ZNI [16] son: fondo de Apoyo a las ZNI (FAZNI) Fondo Nacional de Regalías para proyectos de cobertura rural, Fondo de Apoyo a la Electrificación Rural, y recursos de cooperación internacional, entre otros. Para este caso de aplicación se consideró sólo el FAZNI, como fuente de dinero para el desarrollo de proyectos de electrificación.

Para el año 2003, se contó con \$180.000 Millones disponibles para la electrificación de las 11 ZNI que tiene Colombia [46]. Éste dinero es asignado para la inversión en nuevos proyectos y mejora de las plantas de generación y líneas eléctricas existentes, a través de la factibilidad técnica, económica y ambiental de los proyectos, exigida por instituciones gubernamentales como el IPSE y la UPME.

El incremento del dinero disponible para la inversión del estado en la electrificación, ha sido considerado por el impuesto FAZNI, el cual fue establecido en [47] como \$1 por kWh transado en la bolsa del mercado eléctrico colombiano. Por el alcance que tiene este trabajo, se ha considerado un incremento por demanda del 4.5% por periodo, para los \$ 58000 Millones iniciales, correspondientes a 58 GWh – año, transados en bolsa en el año 2005. [48].

La cantidad de dinero que le corresponde a una localidad en particular dentro de una ZNI, ha sido considerada con base en la cantidad de personas a beneficiar y la prioridad que dicha zona representa para el desarrollo del país. En este caso el litoral pacífico es una zona de alta prioridad [49] y [16].

Según el plan nacional de desarrollo 2003-2006 para el departamento del Cauca [50] y [51] y un factor de asignación de recursos que se calculó para este caso de aplicación según prioridades, la inversión en la zona seleccionada sería:

Inversión en educación y alimentación escolar = \$71.07 Millones.

Inversión en deporte y cultura = \$25.89 Millones.

Inversión en salud = \$ 166.85 Millones.

Inversión en resguardos indígenas = \$ 182.96 Millones.

Libre inversión y libre destinación = \$227.52 Millones.

Con los datos, cálculos y supuestos presentados se diseñó un diagrama de flujos y niveles, que determinó el modelo de simulación para la evaluación de políticas en la energización de la comunidad objeto de estudio en este caso de aplicación, del cual se citan a continuación los resultados correspondientes.

7. RESULTADOS DEL MODELO

La formulación tarifaria para el servicio de energía eléctrica en las zonas no interconectadas, se realiza con base en dos variables eléctricas, la potencia y la energía [43] luego un análisis de estas dos variables es requerido para este caso de aplicación.

Se presenta a continuación el análisis de resultados, para diferentes aspectos de la comunidad dentro del proceso de electrificación. En primer lugar se analiza el comportamiento de la oferta y demanda de electricidad.

Se observa en el recuadro a) de la Figura 7 cómo la oferta de potencia eléctrica sigue la demanda potencial, en complemento con la capacidad en construcción. La oferta de potencia, mostrada como capacidad disponible, permite satisfacer gran parte de la demanda, quedando pendiente hacia al final de la simulación, alrededor de 10 kW, demandados por las 5 familias pendientes por conectar y la demanda no residencial pendiente de atender, con la capacidad de potencia en construcción. Esto se debe a que la capacidad mínima de construcción es 10 kW.

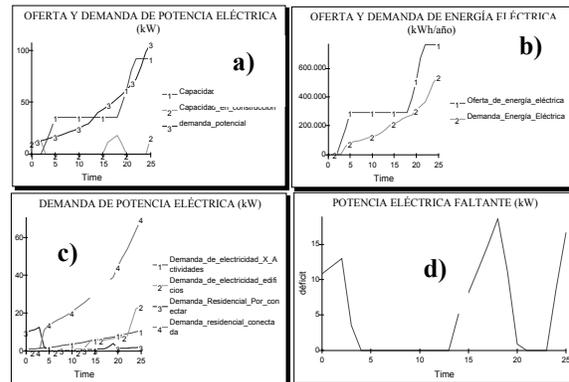


Figura 7. Oferta y demanda de electricidad, usuarios y familias

Figure 7. Supply and demand electrical, users and families

La oferta de potencia y de energía observadas en los recuadros a) y b) de la Figura 7 se encuentran retardadas dos periodos de tiempo, correspondientes a la formulación, aprobación, ejecución y puesta en marcha de los proyectos de electrificación, así como el tiempo de conexión de un nuevo usuario a la red. Se observa además en el recuadro b) de la misma Figura, como la oferta de energía eléctrica satisface la demanda en todo momento.

El recuadro c) de la Figura 7 muestra los diferentes componentes de la demanda potencial, observándose allí una participación mayoritaria de la demanda residencial conectada, y una pequeña participación de la

demanda de potencia eléctrica proveniente de edificaciones, y actividades desarrolladas por la comunidad. De otro lado, el comportamiento del déficit de potencia eléctrica observado en el recuadro d) de la Figura 7 presenta oscilaciones alrededor del valor de mínima capacidad, este comportamiento es el esperado en estos casos, con límites de capacidad de construcción y dinero disponible limitado para la inversión.

En la Figura 8 se observa la evolución de cada uno de los capitales. En términos generales todos los capitales presentan un mejoramiento. El capital financiero (KF) por su parte presenta un comportamiento exponencial creciente, como consecuencia del desarrollo de actividades domésticas, productivas y comerciales que acompañaron el proceso de energización.

Los capitales físico (KFis), humano (KH) y social (KS), presentan mejoras con relación a su posición inicial, a través de un comportamiento lineal, con un cambio de pendiente, alrededor de los 10 años, cuando el desarrollo de actividades es considerable para que la demanda de electricidad propicie el incremento de capacidad. Finalmente el capital natural (KN) presenta un comportamiento suave con tendencia lineal decreciente, como resultado de la degradación ambiental de la fuente de suministro de electricidad, y con algunos picos debido a los periodos transitorios de construcción, donde la contaminación es mayor.

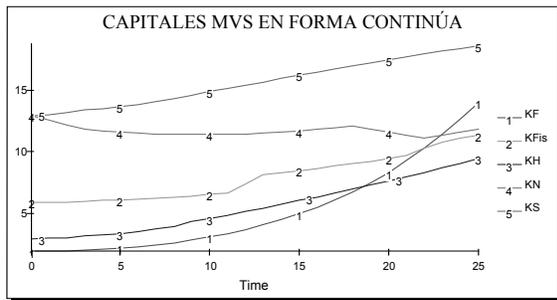


Figura 8. Evolución de capitales

Figure 8. Evolution of the capitals

Finalmente para este análisis de resultados y en comparación con el estado inicial de la comunidad en cuanto a materia de capitales y medios de vida sostenible se refiere, se presenta

en la Figura 9 el pentágono de capitales al final de la simulación.

Como se observa en la Figura 9, se producen mejoras en todos los capitales a excepción del capital natural, como era lo esperado, observándose un mayor valor para el capital social, quedando este, en un estado abundante, así como un valor igual para los capitales físico, financiero y humano determinan un estado de sostenibilidad para la comunidad, viéndose este estado, restringido por el valor final del capital natural. Es decir, los pobladores de este caso de aplicación presentan mejores medios de vida, por efecto de la energización y el desarrollo de actividades productivas, domésticas y comerciales provenientes del acompañamiento del Gobierno en este proceso.

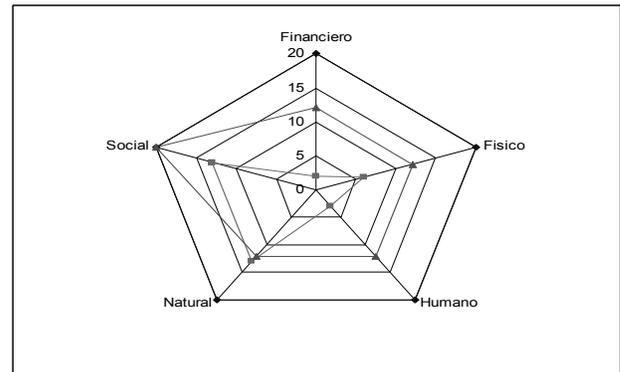


Figura 9. Estados de desarrollo para la comunidad de indígena Páez

Figure 9. state of development for the Paez aborigine community

8. CONCLUSIONES

La integración de los MVS y DS probó ser adecuada para la evaluación de políticas energéticas.

La energización tiene impactos positivos en la comunidad, los cuales pueden ser medidos a través de los MVS.

La energización debe estar acompañada de otros planes de desarrollo que permitan la sostenibilidad de la misma. Se requiere acompañamiento al proceso de energización de actividades productivas, domésticas y comerciales, por medio de un sistema de financiación.

Se deben desarrollar capacidades humanas para apropiar, operar y mantener la tecnología.

9. AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen de forma especial el apoyo financiero recibido por el Imperial Collage London. U.K, COLCIENCIAS y el IPSE, así como al Grupo de Investigación en Sistemas e Informática al cual pertenecen.

REFERENCIAS

- [1] DYNER I, ÁLVAREZ C, CHERNI J. SD (2005). For assessing the contribution of energy to sustainable livelihoods in poor developing nations. Memories XXII International conference of system dynamics society. Boston. USA. 2005
- [2] Departamento Nacional de Planeación DNP (1999). Plan Colombia. Sector de Energía. Bogotá.
- [3] PÉREZ E (2004). "Utilización de Fuentes Alternas de Energía en Zonas No Interconectadas," en II Encuentro nacional de uso racional de energía y fuentes de energía no convencionales. Instituto de Planeación y Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE).
- [4] Ley 143 de 1994. Ley Eléctrica. Artículo 11°. Santafé de Bogotá. 1994.
- [5] Ley 855 de 2003. Definición de Zonas No Interconectadas al SIN. Santafé de Bogotá. 2003.
- [6] NARANJO, L & BOTERO, S (2005). "Informe Marco Legal". En Proyecto COLCIENCIAS. Plataforma para el soporte a la evaluación de políticas y a la toma de decisiones en energización de zonas no interconectadas en Colombia. En Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Mayo 2005.
- [7] NARVÁEZ F, (2004). Políticas de energización rural para la expansión del servicio público de electricidad Colombia – Perú. Seminario Servicios Públicos. Experiencias Colombianas y Latinoamericanas. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá.
- [8] ZAPATA, J & BAYONA, I. (2001) "Nuevo esquema de organización para el suministro energético en las zonas no interconectadas de Colombia. Revista Escenarios y Estrategias, N° 8. Bogotá, Diciembre de 2001. Disponible En: <http://www.upme.gov.co/revista/web/nuevo.htm> # [Fecha de consulta: Marzo de 2005].
- [9] ALFSTAD, T (2004). "Meeting South African Renewable Energy Targets. Energy Research Centre" in Electricity Recommend. V1. Ed 2. 2004
- [10] ALFSTAD, T (2004a). "Applications of energy Models in the South. Energy Research Centre. LEAP & MARKAL," in Recommend. V1. Ed 2. 2004
- [11] TELL, I (2004). "Form Economic Input to Human Right. ETC Foundation. Energy," in Recommend. V1. Ed 2. 2004.
- [12] LANDAVERI, R & SBROIIVACCA, N (2004). "A Model of the Household Sector. Institute for energy economics / Fundación Bariloche (IDEE/FB). Energy Substitution". Recommend. V1. Ed 2. 2004.
- [13] SMITH, R. & PULGARÍN, A. (2002). "Optimización multiobjetivo con algoritmos genéticos: desarrollo de un modelo para electrificación rural," en XI – Congreso latinoamericano de investigación de operaciones Chile 2002.
- [14] SMITH, R & MESA J. (1996). "A rural electrification expansion model. Internacional" in Transactions in Operacional Reseach, vol 3, 319-325. 1996

- [15] SANTOS & LINARES (2003). "Favouring the convergence of the renewable energy support," Directive 01/77/EC Comisión Europea. 2003.
- [16] HAGLER BAILLY & AENE CONSULTORÍA. (2001) documentos ANC-375-10,13,16,17,20,21,22,23,24,27,28 y 29 del trabajo "Establecimiento de un plan estructural, institucional y financiero, que permita el abastecimiento energético de las zonas no interconectadas, con participación de las comunidades y el sector privado. Santafé de Bogotá. Enero de 2001.
- [17] UPME. Unidad de Planeación Minero Energética. (1999). "Línea base georeferenciada para la formulación del plan de suministro de energía para las ZNI de Colombia. Metodología". Santafé de Bogotá. 1999.
- [18] UPME. Unidad de Planeación Minero Energética. (2001). "Potencialidades y restricciones técnicas, económicas y ambientales para el desarrollo minero y energético del país. Informe de avance N°1, capítulo 2.7. INTEGRAL S.A.
- [19] GARCÍA, C. (1997). "Metodología para evaluación de oferta y demanda de energía en ZNI," en UPME.1997.
- [20] Instituto de Planeación y Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE). (2001)."Manual metodológico para la formulación, evaluación y priorización de proyectos de soluciones energéticas para las ZNI,"en centro de documentación IPSE. Santafé de Bogotá. 2001.
- [21] CADENA, A. MOISÉS, G. HOYOS, E. (2003). "Diseño de una propuesta para posibilitar la prestación de servicios de agua potable y energía como servicios complementarios en zonas aisladas y rurales," en VI Seminario Internacional sobre Análisis y Mercados Energéticos" Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín – Universidad de Los Andes. Medellín. Octubre de 2003.
- [22] CADENA, G. MOISÉS, E. HOYOS. (2005). "Programa para soportar la toma de decisiones de soluciones energéticas a ZNI con un enfoque de optimización en la maximización del beneficio para resolver el problema del suministro de electricidad con mínimo costo," en VI Seminario Internacional sobre Análisis y Mercados Energéticos" Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín – Universidad de Los Andes.
- [23] Renewable energy for Sustainable Livelihoods RESURL (2005). Seminario taller sobre la energización rural en zonas rurales aisladas y medios de vida sostenibles. Medellín – Colombia. Abril 2005.
- [24] ELKINS, P. (2004). "Step Changes for Decarbonising the Energy System: Research Needs for Renewable, Energy Efficiency and Nuclear Power" in Energy Policy. Special Issue: Energy Policy for a Sustainable Energy Future. 2004
- [25] GROSS, R. (2004). "Technologies and Innovation for System Change in the UK: Status, Prospects and System Requirements of Some Leading Renewable Energy Options," in Energy Policy. Special Issue: Energy Policy for a Sustainable Energy Future. 2004.
- [26] MITCHELL, C & CONNOR, P. (2004). "Renewable Energy Policy in the UK. 1990-2003," in Energy Policy. Special Issue: Energy Policy for a Sustainable Energy Future. 2004
- [27] Department For International Development. DFID. (2005) "Guías Sobre Medios de Vida Sostenibles MVS". http://www.livelihoods.org/info/info_guidanceSheets.html Consultado en julio de 2005
- [28] HENAO, F. (2005). "Modelo de toma de decisiones multiobjetivos en energización de ZNI, como herramienta para el alcance de MVS. Tesis de Maestría. Escuela de Sistemas. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. 2005

- [29] MACQUEEN, D. (2001). "Measurement malaise - is the SL approach inoperable" in FRP Deputy Programme Manager, NRIL, Pembroke, Chatham Maritime, Chatham, Kent ME4 4NN, UK., 2001.
- [30] STERMAN, J. (2000). "Business Dynamics. Systems thinking and modeling for a complex world". McGraw-Hill. EE UU.2000.
- [31] Word Bank. (1996). "Rural energy and development - Best practice paper". Executive Summary. July 1996.
- [32] Word Bank. (2003) "Beyond Economic Growth. Meeting the Challenges of Global development".
<http://www.worldbank.org/depweb/beyondsp/contents.html>. 2003
- [33] Word Bank. (2003a) "PovertyNet, Información y apoyo para el estudio y alivio de la pobreza".
<http://www.worldbank.org/poverty/spanish.htm>. 2003.
- [34] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD. (2003). Informe sobre desarrollo humano. 2003.
<http://www.undp.org/dpa/spanish/energia.htm>
- [35] Renewable energy for Sustainable Livelihoods RESURL (2004). Informe final. En Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. 2004
- [36] Departamento Administrativo Nacional de Estadística. DANE. (2006). Condiciones de Vida. <http://www.dane.gov.co/> fecha de última visita feb de 2006.
- [37] Asociación de cabildos indígenas del norte del Cauca ACIN. (2006). <http://www.nasaacin.net/>. Fecha de visita mayo de 2006
- [38] Dirección Nacional de Planeación DNP. (2003). "Información Básica departamental, Cauca". Abril 12 de 2003. Archivo PDF.
- [39] http://www.dnp.gov.co/ArchivosWeb/Direccion_Desarrollo_Territorial/Indicadores_departamentales/Cauca.pdf. Consultado en Diciembre de 2005
- [40] VASCO. L. (2006). "Jambaló y Guambía en lucha por la vida. En <http://luguiva.net/articulos> (visitada en junio de 2006).
- [41] Dirección Nacional de Planeación. DNP (2003). "Información Básica Departamental, Arauca". Julio 17 de 2003. Archivo PDF, http://www.dnp.gov.co/ArchivosWeb/Direccion_Desarrollo_Territorial/Indicadores_departamentales/Arauca.pdf. Consultado en Diciembre de 2005.
- [42] Centro Colombiano para el desarrollo de la ciencia y la tecnología, COLCIENCIAS. (2005). "Informe técnico de avance". Proyecto de investigación "plataforma para el soporte a la evaluación de políticas y a la toma de decisiones en electrificación de zonas no interconectadas en Colombia" en Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.
- [43] Interconexión Eléctrica S.A. ISA. (2005). "Informe Annual 2005". <http://www.isa.com>. Visitada en Julio de 2006.
- [44] Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG. (2006). "Formulación Tarifaria para el servicio de energía eléctrica en las zonas no interconectadas próximo periodo tarifaria". 2006
- [45] HOYOS, S. (2000). "Estudio técnico económico de utilización de la energía solar fotovoltaica en los beneficiaderos de Café. Trabajo de Grado. Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín. 2000.
- [46] Centrales Eléctricas del Cauca CEDELCA. (2006). Tarifas de energía para el mes de enero de 2006.. www.cedelca.com.co. fecha de visita. Junio de 2006.

[47] ANGULO, E. & SUAREZ, Y. (2003). “Inversión para el desarrollo regional” en estudio Fondo de Apoyo financiero para la energización de ZNI. Contraloría delegada para el Sector Minas y Energía. Junio de 2003.

[48] Gerencia mercado de energía mayorista MEM. (2001). Guía para el recaudo de la contribución al fondo de apoyo para la energización de zonas no interconectadas; Documento ISA-MEM-01-011; Versión 1; Medellín, marzo 14 de 2001.

[49] Expertos en mercados. XM (2006). www.xm.com.co. Consultada en junio de 2006.

[50] Departamento Nacional de Planeación DNP. (2001). Documento Conpes 3108, Programa de Energización para Zonas No Interconectadas. Bogotá. D.C. 2001.

[51] Departamento Nacional de Planeación. DNP. (2003a). Plan nacional de inversión 2003 – 2006 departamento del cauca. http://www.dnp.gov.co/ArchivosWeb/Direccion_Desarrollo_Territorial/Indicadores_departamentales/Cauca.pdf. consultado junio de 2006.

[52] Departamento del Cauca. (2003). “Diagnóstico del Departamento del Cauca, Anexo al plan de desarrollo 2001 – 2003 “en minga por el cauca”. Popayán, abril de 2001. http://purace.ucauca.edu.co/download/diag_cauca.pdf Consultado en Enero de 2005.

[53] HOYOS, S. (2006). “Simulación para la evaluación de políticas en la electrificación de una zona no interconectada en el suroccidente colombiano utilizando dinámica de sistemas y medios de vida sostenibles”. Tesis de Maestría. Escuela de Sistemas. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. 2006.

[54] ÁLVAREZ, C. (2005). “Contribución de a energía a los medios de vida rurales sostenibles – un enfoque de dinámica de sistemas”. Tesis de Maestría en Ingeniería de Sistemas. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. 2005.

[55] ARISTIZABAL, J. (2006). “Simulación de políticas y estrategias en pro del uso eficiente de los recursos Estatales para la Energización Rural Colombiana”. Tesis de Maestría en Ingeniería de Sistemas. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. 2006.