

Perspectivas de desarrollo de proyectos de energías alternativas ante la nueva regulación energética

*Jaime A. Valencia V.; Jaime A. Pérez O.; Germán Moreno O.**

Resumen

Los sistemas de generación de energía eléctrica a gran escala dominan los mercados energéticos, pensando en la palabra mercado desde una definición general y no sólo en la connotación actual que da la nueva regulación gubernamental en el campo energético. Este dominio de los mercados se ha dado porque en los balances económicos no se han incluido variables, y específicamente el medio ambiente, que ya empiezan a tener peso en el ámbito internacional.

Se comentarán los planes de expansión de generación y transmisión de energía eléctrica en nuestro país y se enmarcará en ellos la posibilidad de desarrollo de proyectos de energías alternativas, así como una experiencia regional en la definición de criterios para la ampliación de la cobertura del servicio de energía eléctrica y la evaluación de las diferentes opciones, incluyendo la utilización de energías alternativas. Vale la pena resaltar los favorables resultados de la implantación de estas alternativas ante esta propuesta de evaluación de proyecto y su competitividad ante el nuevo panorama energético nacional e internacional.

-----*Palabras clave:* energías alternativas, regulación energética, energización rural.

Abstract

Large electric energy generation systems are dominant in the energy markets. This has been like that, because the economic balances have not included yet some parameters, and specifically environmental variables, that started being considered in the international markets. Colombian generation and transmission expanding plans are commented and the possibilities for the developing of alternative energy projects are referred to those plans. Additionally, a regional experience in the definition of criteria for electric energy service coverage enlargement allowing for alternative energy inclusion is presented, remarking their successful application as a competitive alternative for rural energizing.

----- *Key words:* alternative energy, energy market, energetic expansion plans.

* Grupo de Investigación en Manejo Eficiente de la Energía Eléctrica, GIMEL. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia.
E-mail: gmoreno@udea.edu.co.

Introducción

Las nuevas condiciones del mercado de energía tanto en el plano nacional como en el mundial, presionan permanentemente en la dirección del uso altamente eficiente de los recursos energéticos; sin embargo la eficiencia es mirada también en un nuevo contexto que considera necesariamente las implicaciones ambientales, y las conductas que en ese aspecto se adopten pueden tener importantes consecuencias no sólo en la calidad de vida presente y futura sino incluso en la facilidad de acceso a recursos financieros para proyectos energéticos y de otros tipos.

Esta situación a veces no parece ser suficientemente considerada en los planes de desarrollo ni, específicamente, en los planes de expansión de generación y transmisión, como tampoco en la regulación del mercado energético. En principio, por ejemplo, se pensaría que la utilización de energías “limpias” merece una gran atención, voluntad política y peso dentro de los planes de expansión del servicio de energía eléctrica y que en nuestro país se estarían dando condiciones muy favorables para la investigación, desarrollo y aplicación de energías alternativas. Una mirada a las definiciones de alcance nacional al respecto, sin embargo, muestra una realidad bastante diferente.

Luego de una muy rápida mirada a la consideración de los potenciales de energías alternativas en los planes de expansión, se presentan algunas consideraciones sobre dichos planes y se avanzan algunas conclusiones sobre las posibilidades ofrecidas para aquellas energías; se contemplan luego las posibilidades para energías alternativas en “zonas no interconectadas” y se trae a colación la situación internacional, en particular el protocolo de Kioto, para llamar la atención sobre posibilidades de apoyo internacional a proyectos de desarrollo y aplicación de energías limpias.

Finalmente, se presenta una experiencia regional que ilustra un abordaje razonablemente positivo para la evaluación y consecuente impulso a energías alternativas, por cuanto consideramos de gran importancia que desde ahora se introduzcan nue-

vas metodologías para analizar la factibilidad de los proyectos energéticos teniendo en cuenta las diferentes variables que entran a pesar en el ámbito internacional y adicionalmente las características propias y la identidad de los consumidores directos para no incurrir en presupuestos falsos, como presumir que las necesidades energéticas nuestras puedan ser similarmente demandantes a las de países considerados desarrollados tecnológicamente.

Potencial de energías alternativas

El conocimiento del potencial de energías alternativas en Colombia es aún muy deficiente, en parte por la complejidad de su levantamiento y en mucho porque nunca ha habido una real dedicación de medios para hacerlo. De los datos disponibles del plan de expansión, se reproduce a continuación la información al respecto, para energías solar y eólica [5]:

Energía solar

La información disponible aparece en la tabla 1.

Tabla 1 Potencial de energía solar por región

<i>Región</i>	<i>Radiación solar kwh/m²/año</i>
Guajira*	2000-2200
Costa Atlántica	1730-2000
Orinoquia-Amazonia	1550-1900
Andina	1550-1900
Costa Pacífica	1450-1550

* Se toma la Guajira como una región independiente por su alto potencial.

Energía eólica

Mapas preliminares y trabajos puntuales muestran para la región atlántica vientos medios anuales superiores a 5 m/s a 10 m de altura, lo que ya

permitiría su aprovechamiento en plantas para conectar a la red.

Energías alternativas ante el plan de expansión de generación

Veamos primero el plan energético nacional y de expansión de la generación. Uno de los objetivos fundamentales es el incremento del consumo de gas natural y lograr mayor coordinación entre los sectores del gas y la energía eléctrica [1, 2]. Una de las motivaciones de este objetivo es hacer menos vulnerable el sistema de generación a las condiciones hidrológicas del país. Las medidas hasta el momento ya han dado resultados positivos y se muestra en la figura 1 el incremento de la participación del gas en la generación eléctrica y la figura 2 muestra cómo se ha incrementado la potencia instalada para generación eléctrica con gas. En el año 1999 se ve una reducción en el porcentaje de utilización de gas, pero esto se debió a una reducción de la demanda de energía y a una temporada de lluvias abundantes. Si se tiene en cuenta el uso doméstico del gas natural y del GLP, su participación es mucho mayor que la que presentan estos gráficos. La utilización del gas natural representa un aspecto positivo desde el punto de vista ambiental, en términos de alternativa frente a otras fuentes convencionales más contaminantes; sin embargo, adolece de ser un recurso no renovable.

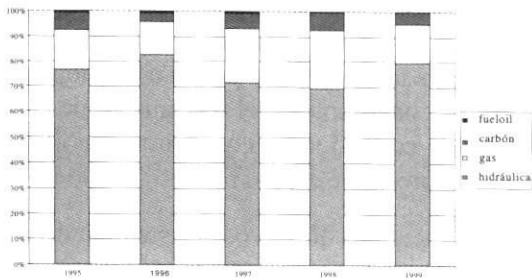


Figura 1 Generación eléctrica por fuente de energía

Otro importante objetivo del plan es el aumento de la participación del sector privado en la generación y para esto se ha implantado el nuevo marco regulatorio del sistema energético y la bolsa

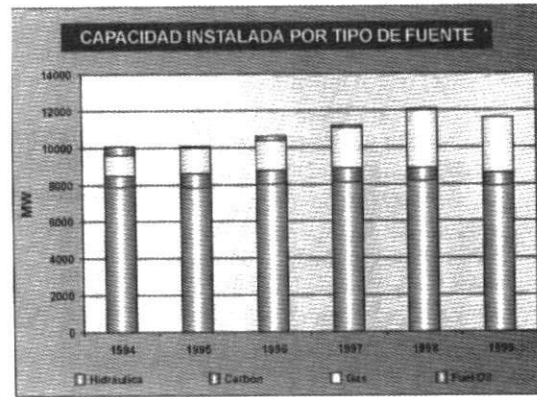


Figura 2 Capacidad instalada por fuente de energía

de energía. Esas medidas ya han dado sus frutos y se muestra claramente el rápido incremento de la propiedad en manos privadas en los últimos años. La figura 3 ilustra este rápido crecimiento y es importante anotar que la inversión extranjera en este sector ha representado un alto porcentaje de toda la inversión foránea en nuestro país en los últimos años.

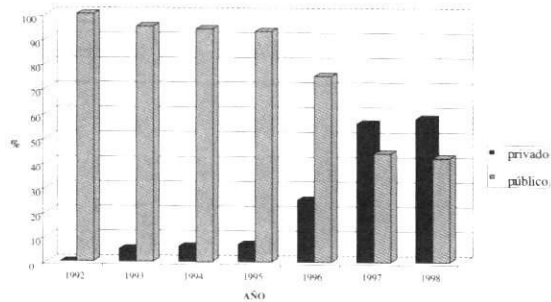


Figura 3 Propiedad del sistema de generación

Para mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico nacional se ha considerado importante aumentar la componente térmica en la generación, ya que hemos tenido un sistema predominantemente hidráulico. La figura 4 muestra una comparación en esta componente.

Aun teniendo como propósito y objetivo el aumento de la participación térmica en el sistema eléctrico colombiano, la realidad del mercado ha demostrado que ante condiciones hídricas favo-

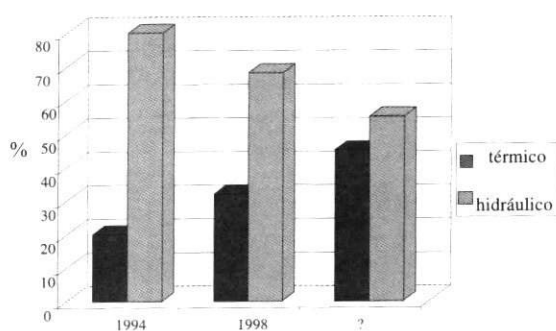


Figura 4 Componentes de generación eléctrica

rables, no se puede competir en precios con la generación hidráulica. También ha sido difícil atraer la inversión privada a generación térmica, ya que en la bolsa siempre ganará en caso de tener reservas hídricas. En la tabla 2 [3] se muestra que aun en los planes hay mayor componente hidroeléctrica, 1.150 MW contra 879 MW térmicos. Esto equivale a 45% de componente térmica en el plan.

Tabla 2 Proyectos del plan de expansión (< 2004)

Proyecto	MW	Fuente
Termocandelaria	300	Gas
Termocentro	100	Gas
Termosierra	179	Gas
T. Cesar	300	Carbón
Urrá	340	Hidráulica
Porce II	393	Hidráulica
Miel I	375	Hidráulica
Río Piedras	19,4	Hidráulica
Sonsón	9,8	Hidráulica
Pajarito	4,5	Hidráulica
Dolores	8,5	Hidráulica

Teniendo en cuenta estos datos, podemos presentar algunas conclusiones respecto a las oportunidades que tienen las energías alternativas ante los planes de expansión de la generación y la transmisión:

1. Es claro que las energías alternativas no se tienen en cuenta en ninguno de los numerales de estos planes de expansión del sistema interconectado. Más adelante veremos que puede tener más pertinencia en lo que denominan áreas no interconectadas. También es claro desde hace tiempo que los sistemas masivos convencionales de generación de energía son económicamente más rentables que los sistemas de generación con fuentes alternativas.
2. La promoción del uso de gas natural y del incremento de la componente térmica, aunque tenga sus justificantes, va un tanto en contravía del aprovechamiento de las fuentes renovables. Este aspecto del plan es contradictorio, por una parte, con los lineamientos de tipo ambiental aceptados nacional e internacionalmente y, por otra, con la existencia de un gran potencial hídrico por explotar. La referencia [4] estima que solo se ha aprovechado actualmente un 10% de todo el potencial disponible.
3. Respecto al objetivo del incremento de la inversión privada, esto puede ser importante para cualquier otra cosa que no sea promocionar el uso de las energías alternativas. Ya se sabe que la inversión privada básicamente cuenta pesos o dólares y poco les interesa la inversión social. Aún así, vale la pena considerar la posibilidad contemplada en el plan de expansión [5] para zonas rurales viables de interconectar técnicamente pero no económicamente, consistente en el mecanismo de contrato de concesión, que podría desarrollarse con empresas de capital mixto.

De los principales objetivos de este plan de expansión, no vemos ninguno que realmente tienda a impulsar el uso de energías alternativas y lo más positivo desde el punto de vista ambiental es que la componente hídrica, la cual aprovecha un recurso renovable, sigue con una presencia fuerte a pesar de los propósitos gubernamentales.

Las energías alternativas en zonas no interconectadas

Podemos definir perfectamente lo que es una zona no interconectada, pero es importante partir de la definición o delimitación de lo que se considera oficialmente según la propuesta del IPSE (Instituto de Promoción de Soluciones Energéticas). La zona no interconectada, figura 5, es la comprendida por Guaviare, Guainía, Vaupés, Amazonas, Vichada y algunas regiones de Arauca, Caquetá, Putumayo, Casanare, Meta, Chocó, Cauca y Nariño.

Esta zona equivale a 630.562 km² lo cual representa un 55% del territorio nacional, tiene 72 municipios y la población que vive en las cabeceras es de 43.000, mientras que los que viven en áreas fuera de las cabeceras son 64.000. Son un total de 104.000 habitantes, los cuales representan grupos de los más bajos ingresos y para ellos se tienen instalados 100 MW de generación de energía eléctrica. Los precios que pagan por kW varían entre \$379 y \$674, lo cual, comparado con los precios que se pagan en las ciudades, es menor de \$150, bastante alto y más si se tiene en cuenta su bajo poder adquisitivo. La cobertura

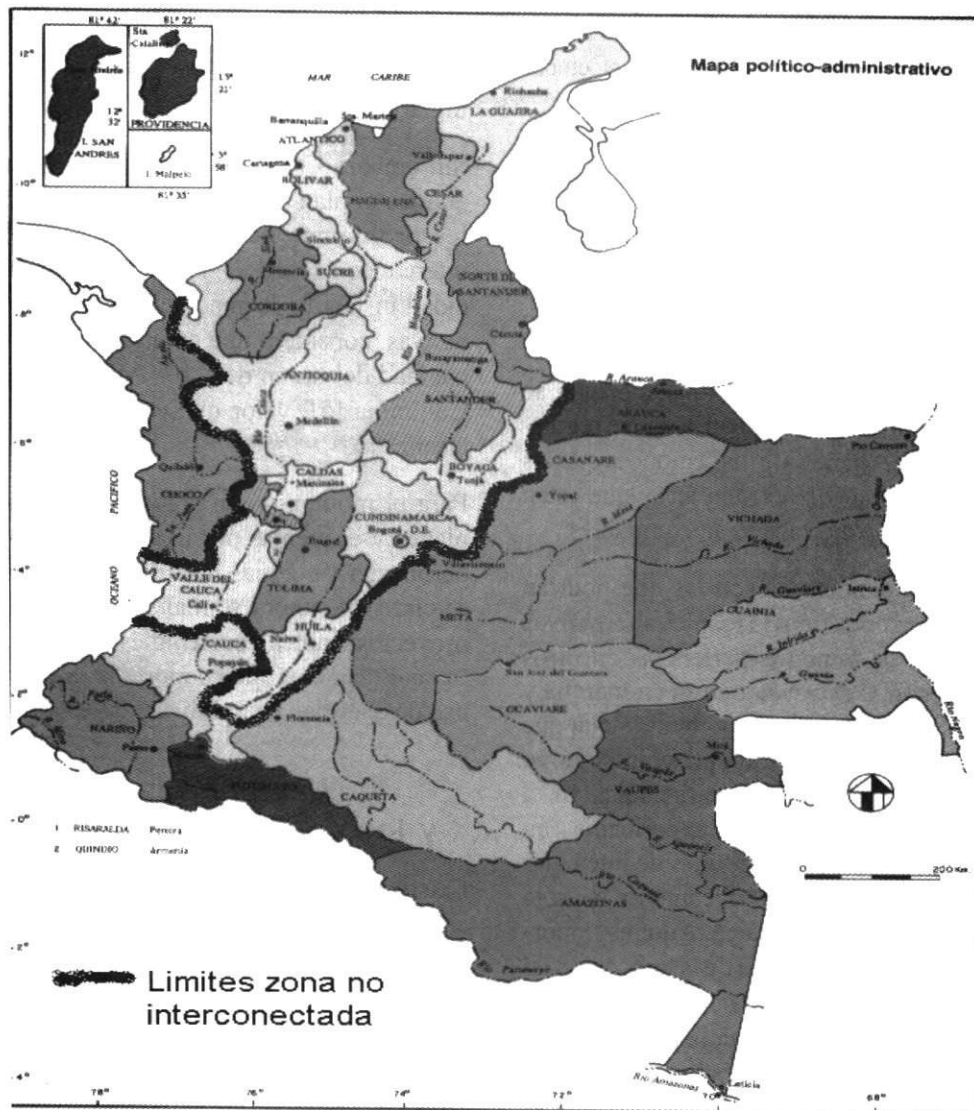


Figura 5 Mapa de zonas no interconectadas

en estas zonas se estima de 50%, como se ve en la figura 6.

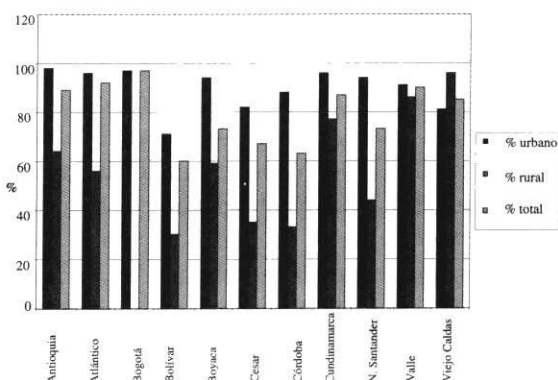


Figura 6 Cobertura del servicio de energía eléctrica

Si damos una mirada a las coberturas del servicio de energía eléctrica en los departamentos que no están considerados en las zonas no interconectadas, se puede apreciar que las coberturas nunca llegan al total de la población y es ya sabido que existen núcleos de población que no cuentan con este servicio y que los planes de electrificación rural se han congelado prácticamente con la nueva regulación del sector. Podemos afirmar entonces que las zonas conectadas al SIN existen áreas que están desconectadas y no se consideran como tales.

Estas zonas no conectadas son las que podrían ser factibles de aplicación de fuentes alternativas de energía. Ya se tienen experiencias en otros países [6, 7] con éxito en su puesta en marcha y utilización. Sin embargo, es importante anotar que estas experiencias han tenido el decidido apoyo financiero de entidades gubernamentales en el lugar de su implantación. Las experiencias en Cataluña muestran que a longitudes de línea mayores de 800 m, ya es económicamente factible el uso de la energía fotovoltaica. Aquí es importante anotar que la factibilidad de la aplicación en las condiciones actuales está dependiendo de la financiación de la inversión inicial, que es alta y que para nuestro país, con tan bajos ingresos per cápita en el sector rural, es muy difícil que el usuario pueda asumir esos costos.

En lo que respecta a la investigación y desarrollo del uso e implementación de energías alternativas, el plan nacional plantea lo siguiente [8]:

“Energías Alternativas. Se proponen líneas de trabajo en cuatro de estas fuentes (minicentrales hidráulicas, energía solar, energía eólica y biogás), orientadas a sustentar su aplicabilidad al medio rural o zonas no interconectables a las redes eléctricas.”

A pesar de esto sigue siendo poco lo que se ha adelantado en el país y aún no es claro cómo se financiarán la ampliación de coberturas y menos la forma de incentivar el uso de fuentes alternativas. Hasta el momento las ejecutorias en fuentes alternativas de energía no pasan de estudios, seminarios y cartillas [9].

Sin embargo, vale la pena tener en cuenta que aunque el plan de expansión anota los potenciales problemas de inestabilidad del sistema interconectado (SIN) si se permite una alta capacidad instalada de generación con fuentes alternativas, considera que en el corto plazo una capacidad del orden de 1.200 MW sería viable en Colombia [5], valor que está muy lejos de ser alcanzado.

Para el momento aún siguen discutiéndose los planes y esquemas por usar para ampliar la cobertura en las zonas no interconectadas [10], y es claro que ahora se maneja el lineamiento de proyectos viables y sostenibles económicamente, lo cual deja con poco soporte la implantación y uso de energías alternativas.

Las energías alternativas y los convenios internacionales

Existen diferentes entidades burocráticas internacionales que han impulsado el uso de energías alternativas y fuentes renovables de energías. En un convenio que aún esta por llevarse completamente a la práctica, el PROTOCOLO DE KIOTO, los poderosos del mundo, aceptando que ya se han generado bastantes daños a la atmósfera terrestre y que debe hacerse algo antes de que

la situación se vuelva insostenible, decidieron que deben iniciar una reducción de sus emisiones a la atmósfera y como se asume que este fenómeno es planetario, queda la posibilidad de negociar la reducción de emisiones en cualquier parte del mundo. Así, es posible que incluyendo el precio de tener sumideros y de hacer proyectos sin emisiones o con bajas emisiones, se puedan financiar más fácilmente proyectos de energías alternativas [11].

Evaluación de implantación de energías alternativas en Antioquia

La situación financiera de las electrificadoras y la normatividad vigente que establece las obligaciones de los Operadores de Red (OR's), en lo relacionado con la expansión eficiente, económica y confiable de los sistemas, reclama la búsqueda permanente de nuevas alternativas de energización para regiones muy distantes de los cascos urbanos con sectores residenciales de estratos 1 y 2 en su gran mayoría, ya que la interconexión tradicional es descartada cada vez más como una opción para dichas regiones, al ser considerados mercados débiles, de bajo consumo, dudoso recaudo y alta dificultad de mantenimiento para las redes.

El caso de Antioquia, no es ajeno a este problema. Las regiones y veredas por electrificar se caracterizan por la alta dispersión de usuarios, gran distancia hasta el posible punto de pegue del alimentador y poco número de usuarios. Algunos indicadores por proyecto son [12]:

- Usuarios: 30-40
- Distancia al punto de pegue (km): 1-1,5
- km de primaria: 12-15
- US\$/km primaria: 3,05
- US\$/km de secundaria: 12,16
- US\$/transformador: 2,36

Aplicabilidad de las energías alternativas

Se pretende evaluar financieramente la aplicación de alternativas energéticas frente a la interconexión tradicional y ver cómo, cuando el consumo energético es relativamente bajo y el lugar está muy retirado de las redes de interconexión y con alta dispersión, la electricidad fotovoltaica es la alternativa de menor costo. Sin embargo, si existe el recurso hídrico necesario, la instalación de pequeños generadores que suministren energía a ciertas viviendas de un sector, se perfila como la alternativa de mayor eficiencia.

La situación actual en zonas rurales y residenciales antioqueñas, alejadas e incluso electrificadas, refleja un empleo muy bajo o prácticamente inexistente de la energía eléctrica convencional en la cocción de alimentos. Por el contrario, continúa el uso masivo de leña y el incremento del consumo de GLP.

Por eso, las necesidades básicas en electricidad de estas poblaciones son básicamente para iluminación, y en menor grado para entretenimiento (radio y televisión), por lo que estas energías alternativas pueden perfectamente entrar a satisfacer dichos requerimientos a menores costos que la electrificación tradicional. Sin embargo, se considerarán también en el presente estudio, alternativas complementadas (para cocción) que suministren la totalidad de la energía requerida por familias del sector rural de los estratos 1 y 2 principalmente.

La imposición al usuario de un límite de energía eléctrica diaria que puede consumir, puede parecer el mayor inconveniente de estas soluciones. Si el diseño de la instalación y la información al usuario son adecuados, tal limitación es aceptada y se traduce en un sentido de la responsabilidad que fomenta el uso racional y eficiente de la energía eléctrica.

Las alternativas de energización rural con fuentes no convencionales por considerar son las siguientes:

- Energía solar fotovoltaica
- Energía solar fotovoltaica complementada con GLP o briquetas de carbón
- Picogenerador hidráulico
- Picogenerador hidráulico complementado con GLP o briquetas de carbón

Los sistemas con picogeneración y fotovoltaicos por considerar no involucran el empleo de un inversor para consumo a 110 Vac, ya que eleva mucho los costos y no resulta práctico dado que el consumo en la población objeto del análisis, sector residencial y rural de estratos bajos, no lo amerita.

Por otra parte, para la cocción se analiza el empleo de las briquetas de carbón y el GLP, ya que no resulta rentable el suministro de energía para tal fin mediante paneles solares y picogeneración.

Análisis financiero de las alternativas de energización rural para el proyecto típico

Por lo expuesto hasta el momento, se pretende ahora analizar la competitividad que ofrecen las alternativas de energización rural con fuentes no convencionales de energía frente a la interconexión tradicional desde la óptica del usuario residencial y rural. Para ello se parte de que la interconexión típica de un usuario del dicho sector tiene un costo promedio de 3,5 millones de pesos en veredas alejadas de las redes eléctricas en el departamento de Antioquia [12].

Las siguientes matizaciones contribuyen a centrar los límites del estudio, el alcance de sus objetivos y la perspectiva de las conclusiones a las que posteriormente se llegará:

- El éxito de este tipo de proyectos radica en la determinación real de las necesidades energéticas de los asentamientos, y en que la gestión de los programas se apoye en las organizaciones sociales y comunitarias existentes en las diferentes zonas. Los consumos típi-

cos de una familia en zona rural pueden aproximarse a los de las tablas 3 y 4.

Tabla 3 Consumos considerados por aparato [12]

<i>Equipo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Consumo Instantáneo (A)</i>	<i>Uso (h/d)</i>	<i>Consumo total (Ah/d)</i>
Lámpara	1	1,0	4	4,0
Lámpara	1	1,0	1,5	1,5
Lámpara	1	1,0	1	1,0
Lámpara	1	1,0	1	1,0
Grabadora	1	1,0	4	4,0
T.V. B y N.	1	1,5	3	4,5
TOTAL		6,5		16,0

Tabla 4 Consumo para cocción

<i>Estrato</i>	<i>Consumo típico de energía eléctrica (kWh mes)</i>	<i>Consumo de GLP % del cilindro mes</i>	<i>Consumo Briquetas (Pares por mes)</i>
1	85	0,48	30
2	99	0,55484	30
3	135	0,7566	30
4	183	1,03	30

- La vida útil que se ha considerado para la evaluación de las diferentes alternativas es de 20 años con el fin de unificar y facilitar el análisis como proyectos de igual vida de servicio.
- En cuanto a la interconexión se tienen tarifas de energía para estratos 1 y 2 del sector rural en el mercado de EADE S.A. E.S.P. sin considerar subsidios extralegales ya que tienden a ser eliminados.
- Para el análisis de beneficios en las alternativas de electrificación, incluyendo la interconexión, se ha supuesto que hay sustitución de energéticos para los usuarios, que se emplean

para iluminación, entretenimiento, cocción. Esto significa que al implementar cualquiera de las alternativas, dejan de emplear velas, pilas, gasolina, kerosene, etc. Se cuantificó en \$10.000 por vivienda-mes, valor que incluso puede resultar bajo.

Sin embargo otro importante beneficio de difícil cuantificación, que no es considerado dentro de la evaluación y es común para todas las alternativas, es el incremento de la calidad de vida de las poblaciones objeto de estos programas de energización rural en aspectos fundamentales como salud, educación, desarrollo y fortalecimiento de organizaciones comunitarias y actividades sociales y culturales.

- Las vidas útiles consideradas para los elementos de la planta fotovoltaica y la de picogeneración es la suministrada por los fabricantes. En particular la vida útil de la batería en este tipo de aplicaciones estáticas puede llegar a alcanzar los siete años debido a la protección que suministra el regulador de carga y descarga; por tanto no está sobrestimada la consideración de una vida útil de cuatro años que se ha tomado para este elemento en la evaluación.
- El costo de personal (mano de obra) para mantenimiento de las instalaciones fotovoltaicas o de picogeneración se ha valorado mediante la consideración de que una persona visite periódicamente las viviendas para limpiar los sistemas, sustituir equipos defectuosos y recoger los datos relativos al uso y grado de satisfacción de los usuarios.
- El costo de transporte considerado es de \$10.000 por usuario-año el cual incluye todo lo relacionado al transporte y traslado de los elementos por reponer. Esto seguramente tendría que evaluarse nuevamente en comunidades muy alejadas con problemas de acceso.

Los criterios dinámicos de evaluación considerados son el valor presente neto (VPN), el costo anual equivalente (CAE), además de la relación beneficio-costos que deben conducir a resultados similares. En este tipo de proyectos y como la evaluación se hace desde la óptica del usuario,

no hay una tasa interna de retorno (TIR) para ninguna de las alternativas consideradas ya que están compuestas básicamente de egresos. La tasa de interés para la evaluación que se hace a precios constantes, es del 10%.

Costos asociados a las alternativas

Los costos asociados a las energías fotovoltaica y a la picogeneración aparecen en las tablas 6, 7, 8, 9 y 10 y en las figuras 7 y 8. En ellas se relaciona el listado completo de equipos requeridos para las instalaciones [13] en una vivienda con los usos y tiempos descritos anteriormente y con la vida útil que se espera según fabricantes de cada uno de dichos componentes. Incluyen suministro, transporte, instalación y puesta en funcionamiento.

También se estima una cuota mínima de sostenimiento del proyecto por parte de cada usuario a partir del mantenimiento y reposición requerido para los sistemas. Sin embargo esta podría reducirse debido a que la mano de obra considerada debe ser menor ya que el trabajo involucrado en el cambio de elementos no es especializado ni arduo y debido a que la duración de la batería puede aumentar significativamente por la protección del regulador de carga y descarga.

Para la cocción, se describen características de las briquetas de carbón que resultan poco conocidas, como se ve en la tabla 5.

Tabla 5 Características asociadas a las briquetas

Costo instalación	\$21.500 que corresponden al valor de la homilla
Costo de las briquetas	> \$440 por un par (una de fácil encendido y la otra no)* > \$220 por una briketa normal*
Consumo diario de briquetas	1 par (2,82 kW-h)
Costo mensual de las briquetas	\$13.200

* Estos costos son los que inicialmente se manejan ante un posible inicio de producción de bicarbón, pero son susceptibles a cambios.

Tabla 6 Alternativas de energización rural, costos asociados a la energía fotovoltaica para un solo usuario (\$ marzo de 2000)

<i>Mantenimiento preventivo para una planta con paneles solares</i>		
<i>Descripción</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Costos (\$)</i>
Limpieza de módulo para evitar reducción en potencia	Cada semana	0
Verificar nivel correcto de agua en la batería	Cada mes	0
Limpieza de bornes de la batería	Cada mes	0
<i>Reposición de equipos</i>		
<i>Descripción</i>	<i>Frecuencia (años)</i>	<i>Costo (\$)</i>
Cambio de batería	4	163.390
Cambio de tubos fluorescentes	2	16.000
Cambio de regulador electrónico	10	130.000
Otro		
Costo anual (materiales de mantenimiento y reposición)	61.848	
Transporte	10.000	
Mano de obra	15.000	
Administración	2.000	
Cuota de sostenimiento anual (por usuario)	88.848	

Tabla 7 Alternativas de energización rural, costos asociados a la energía fotovoltaica para un solo usuario (\$ marzo de 2000)

<i>Inversión inicial</i>				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Valor unitario</i>	<i>Valor total</i>	<i>Vida útil años</i>
Módulo fotovoltaico de 77W, 12V, incluye herraje para sujeción	1	900.000	900.000	20
Regulador electrónico 12VDC, 10A	1	130.000	130.000	10
Batería estacionaria de plomo ácido de bajo mantenimiento, 12V, 100Ah	1	163.390	163.390	4
Luminaria fluorescente 20W, 12VDC	4	29.700	118.800	2
Interruptor unipolar de sobreponer	3	1.125	3.375	20
Tomacorriente para 12 VDC	2	3.132	6.264	20
Sistema de protección a tierra	1	47.564	47.564	20
Adaptador para conversión de voltaje de 12VDC a 9,7. 5,6 DC	1	18.033	18.033	20
Juego completo de cables y accesorios de instalación para cada vivienda	1	298.700	298.700	20
Total			1.686.126	

Nota. Los precios incluyen transporte, instalación y puesta en funcionamiento.

Tabla 8 Alternativas de energización rural, costos asociados a la picogeneración para un solo usuario

<i>Instalación</i>				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Vlr. Unitario</i>	<i>Vlr. Total</i>	<i>Vida útil (años)</i>
Picogenerador hidráulico 15W y accesorios de conexión	1	500.000	500.000	20
Construcción de bocatoma y obra civil	1	650.000	650.000	20
Manguera de conducción 2" x 40 m	1	40.000	40.000	10
Regulador electrónico y rectificador 10A, 12 VDC	1	130.000	130.000	10
Batería estacionaria de plomo ácido de bajo mantenimiento , 12 V, 60 Ah	1	121.029	121.029	4
Luminaria fluorescente de 20W y 12 VDC	4	29.700	118.800	2
Interruptor unipolar de sobreponer	3	1.125	3.375	20
Tomacorriente para 12 VDC	2	3.132	6.264	20
Sistema de protección a tierra	1	47.564	47.564	20
Adaptador para conversión de voltaje de 12 VDC a 9,7. 5,6 DC	1	18.033	18.033	20
Juego completo de cables y accesorios de instalación para cada vivienda	1	298.700	298.700	20
Total			1.933.765	

Tabla 9 Alternativas de energización rural, costos asociados a la picogeneración para un solo usuario

<i>Mantenimiento preventivo para una planta de picogeneración</i>		
<i>Descripción</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Costos (\$)</i>
Limpieza de filtro de bocatoma para remover hojas y tierra	Cada día	0
Cambio de bujes, cojinetes, ejes y limpieza general	Cada año	20.000
Verificar nivel correcto de agua en la batería	Cada mes	0
Limpieza de bornes de la batería	Cada mes	0
<i>Reposición de equipos</i>		
<i>Descripción</i>	<i>Frecuencia (años)</i>	<i>Costo (\$)</i>
Cambio de batería	4	121.029
Cambio de tubos fluorescentes	2	16.000
Cambio de regulador electrónico	10	130.000
Otro		
Costo anual (materiales de mantenimiento y reposición)	71.257	
Transporte	10.000	
Mano de obra	15.000	
Administración	2.000	
Cuota de sostenimiento anual (por usuario)	98.257	

Tabla 10 Evaluación financiera. Resumen alternativas para un solo usuario (\$ marzo de 2000)

<i>Indicadores financieros</i>			
<i>Alternativas</i>	<i>VPN (1)</i>	<i>Relación B/C (2)</i>	<i>Inversión inicial (3)</i>
Energía solar fotovoltaica	-1,30	0,44	1,69
Picogenerador (microturbina)	-1,70	0,40	1,93
Electrificación por interconexión	-4,30	0,18	3,50

<i>Indicadores financieros</i>			
<i>Alternativas</i>	<i>VPN (1)</i>	<i>Relación B/C (2)</i>	<i>Inversión inicial (3)</i>
Energía solar complementada con GLP	-2,30	0,31	1,75
Energía solar complementada con briquetas	-2,70	0,27	1,71
Picogenerador complementado con GLP	-2,70	0,28	1,99
Picogenerador complementado con briquetas	-3,10	0,25	1,95
Electrificación por interconexión	-4,30	0,19	3,50

Tasa de descuento del 10%

Notas:

(1) VPN = Valor presente neto

(2) B/C = Relación beneficio / costo

(3) Inversión inicial incluye: el 100% de la solución energética (solar, picogenerador o red de interconexión) y el 100% del energético complementario para cocción (GLP o briquetas de carbón).

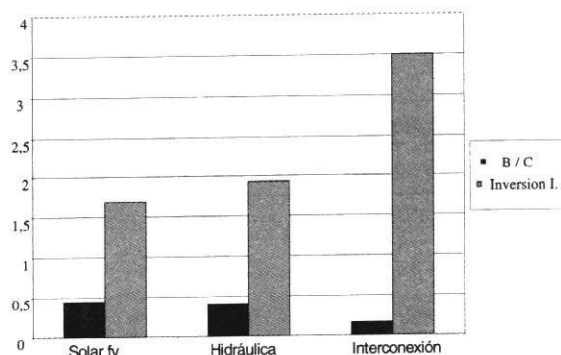


Figura 7 Comparación de las opciones de energización contempladas

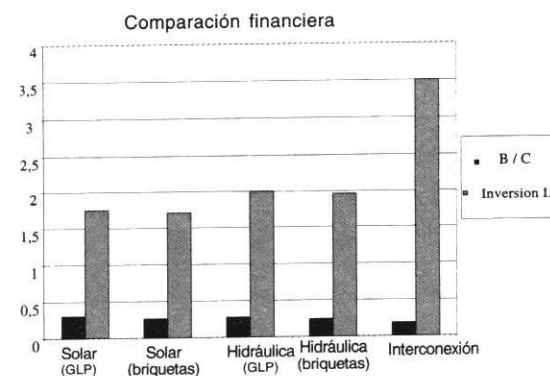


Figura 8 Comparación de alternativas de energización con complemento

El análisis presentado permite las siguientes conclusiones:

Para la puesta en marcha de proyectos con energías alternativas desde el punto de vista de la inversión inicial, es claro que pueden perfectamente entrar a competir con la extensión de redes

eléctricas para el tipo de usuarios que se ha venido describiendo. Sin embargo para que la difusión de dichas alternativas sea exitosa, el apoyo gubernamental o de entidades que promuevan el desarrollo social resulta fundamental. Y en lo referente a los egresos durante la vida útil, deberá cimentarse su sostenibilidad en organizaciones

comunitarias sólidas que den continuidad a los proyectos que se emprendan.

Por otra parte, queda de manifiesto que la solución fotovoltaica es la de menor costo, y la de mayor madurez comercial de todos sus elementos entre las alternativas que se han considerado. Así mismo, cuando se habla de alternativas complementadas para usuarios que requieran de la cocción mediante alguno de los tipos considerados, deberán establecerse las posibilidades reales de comercialización de los sustitutos (GLP o briquetas) en las zonas de un proyecto determinado.

Referencias

1. Sánchez Díaz, Fabio. "Plan energético nacional y plan de expansión, generación y transmisión". *Alternativas Energéticas*. Encuentro de empresarios del sector energético. Medellín, 13 de octubre de 1999. pp. 27—37.
2. Unidad de Planeación Minero Energética, UPME. Ministerio de Minas y Energía. *Plan Energético Nacional*, 1994.
3. Situación actual del plan de expansión de generación eléctrica. *Mundo Eléctrico Colombiano*. Vol. 14, No. 39, abril—junio de 2000. pp. 30.
4. Gutiérrez Pemberthy, Javier. "Energías alternativas para el futuro". *Mundo Eléctrico Colombiano*. Vol. 14, No. 39, abril—junio de 2000. pp. 6.
5. Unidad de Planeación Minero Energética, Plan de Expansión. *Generación Transmisión 1998-2010*, 1999.
6. Valve, Xavier. "L'energia solar fotovoltaica autonoma: Tasca III del programa fotovoltaic de L'agencia Internacional de L'energia". *2s Jornades tècniques sobre energia*. Comunicacions. Barcelona, 19 y 20 de noviembre de 1998. pp. 75—81.
7. Valve, Xavier; Mitjá, Albert; Serrano, Jordi. "Evolució tecnològica i organitzativa en 10 anys d'electrificació rural fotovoltaica a Catalunya". *2s Jornades tècniques sobre energia*. Comunicacions. Barcelona, 19 y 20 de noviembre de 1998. pp. 331—338.
8. Unidad de Planeación Energética. Ministerio de minas y energía. *Plan Energético Nacional* 1994. pp. 267.
9. Cabrales Martínez, Orlando. Memorias al congreso 1997-1998. p. 22.
10. Jáuregui Buenaventura, Daniel. "Abastecimiento de energía para zonas interconectadas y no interconectadas". *Alternativas Energéticas. Encuentro de empresarios del sector energético*. Medellín, 13 de octubre de 1999. pp. 38—51.
11. Blanco, Javier T. "Posibilidades de los mecanismos de desarrollo limpio (MDL) del protocolo de Kioto". *Alternativas Energéticas. Encuentro de empresarios del sector energético*. Medellín, 13 de octubre de 1999. pp. 62—70.
12. Empresa Antioqueña de Energía S.A E.S.P. "Estudio de viabilidad de alternativas de energización rural", Medellín, febrero de 2000.
13. Empresa Antioqueña de Energía S.A E.S.P. "Cotizaciones para suministro de sistemas solares unifamiliares en las veredas El Higuérón y Alto Bonito, Cocorná, Antioquia", Medellín, abril de 1998.