

TAMIZADO DE TECNOLOGIAS ENERGETICAS RENOVABLES PARA USO EN INDUSTRIAS Y SERVICIOS RURALES: TRES CASOS EN ECUADOR

Duque Rivera J.¹, Ramírez Mosquera A.², Zabala Ortiz G.³

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción,

^{1 2 3} Escuela Superior Politécnica del Litoral

Campus Gustavo Galindo

km 30.5 Via Perimetralç

Apartado 09-01-5863

Guayaquil, Ecuador

¹ jduque@espol.edu.ec

RESUMEN

En este trabajo se presenta el desarrollo y aplicación de un esquema para tamizado de tecnologías de energías renovables para provisión de energía en industrias y servicios rurales en tres comunidades ecuatorianas. Necesidades identificadas incluyeron: provisión de electricidad para mejorar servicios de hospedaje en una comunidad alto-andina; provisión de agua potable en una comunidad isleña; mejoramiento de proceso de cocción de paja en una comunidad del litoral. Las tecnologías analizadas incluyeron solar fotovoltaica y pico-hidro para electricidad, destiladores solares individuales y centralizados para provisión de agua potable, finalmente mejoramiento de combustión y diseño de horno y sustitución de leña con GLP o paja para la cocción de la paja toquilla. Criterios de tamizado incluyen la disponibilidad del recurso, la madurez y costo de la tecnología, la experiencia nacional y local con la tecnología, la experiencia previa de la comunidad con la opción tecnológica, la demanda de capacidad para operar y mantener la tecnología, y el grado de acople tecnología-desarrollo local.

PALABRAS CLAVES: Energías renovables, energía rural, PAJ, tamizado

INTRODUCCIÓN

A pesar que en Ecuador se ha venido empujando la difusión de las tecnologías de energías renovables desde la década de los 80 y de que en la actualidad existen esfuerzos del Ministerio de Energía y Minas con fondos propios o del Banco Mundial [1] y de ONGs y universidades y aún de empresas privadas, no se puede decir que éstas se encuentren difundidas y contribuyendo de manera significativa al mejoramiento de la calidad de vida de la población rural. La hidroelectricidad es la energía renovable mas difundida en el Ecuador y su potencial está aun poco explotado, sin embargo, los movimientos ambientalistas y sociales están sistemáticamente oponiéndose a la construcción de nuevos proyectos, aún de las denominadas pequeñas presas. El uso del bagazo en generación

eléctrica se ha desarrollado aprovechando los incentivos de las regulaciones que promueven las inversiones en energías renovables.

El grado hasta el que las políticas y regulaciones existentes están alineadas con las recomendaciones internacionales se está analizando al momento en el Proyecto Andenergy¹, así como el grado hasta el que estas políticas y regulaciones están beneficiando a los pobres. En el marco de este proyecto se está evaluando el rol potencial de las energías renovables para el alivio de la pobreza en Ecuador; uno de componentes de trabajo del proyecto tiene que ver con el análisis del potencial de las tecnologías de energías renovables y

¹ Andenergy-Andean Energy Hub- con financiamiento del Intelligent Energy Europe-III de la Unión Europea

eficiencia energética para la provisión de energía en poblaciones rurales no servidas.

En este trabajo se presenta el desarrollo de un esquema para tamizado de tecnologías de energías renovables para uso en industrias y servicios rurales y se aplica para comparar opciones para la provisión de energía para servicios seleccionados en tres comunidades ecuatorianas.

FACTORES DE IMPORTANCIA PARA LA APLICACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN AREAS RURALES

La experiencia más amplia a nivel nacional en electrificación rural con energías renovables es la del Ministerio de Energía y Minas que ha instalado algunos cientos de paneles solares fotovoltaicos especialmente en la Amazonía y en la zona alto andina del país, sin embargo, esta experiencia de varios años está recién siendo evaluada [2]. Otras iniciativas existen pero son de carácter limitado [3]. Expertos en energización rural locales y funcionarios del MEM reconocen que han existido problemas con los sistemas instalados y que una cantidad no precisada de éstos, que podría ser alta, no están funcionando. Varios factores pueden haber contribuido a esta situación, estimándose que uno de los principales es la falta de apropiación de las tecnologías y los proyectos por parte de sus usuarios/beneficiarios. Este factor estaría asociado a un enfoque puramente técnico para la provisión de las tecnologías, con medidas de éxito expresadas en términos de número de equipos instalados, con fondos limitados para el seguimiento, y sin la debida consideración de factores que aseguren la sostenibilidad de los emprendimientos en áreas rurales.

Algunos factores que contribuyen a la sostenibilidad de los proyectos de energización rural con fuentes renovables son: la disponibilidad del recurso, la madurez y costo de la tecnología, la experiencia nacional y local con la tecnología, la experiencia previa de la comunidad con la opción tecnológica, la demanda de capacidad para operar y mantener la tecnología, y el grado de acople tecnología-desarrollo local [4]. Adicionalmente se tiene que tener una demanda real para el servicio y el compromiso firme de los usuarios a operar y mantener los equipos. El gran objetivo es la selección de tecnologías de energías renovables para provisión de energía a sitios específicos de los sectores rurales actualmente no atendidos por servicios energéticos modernos.

La disponibilidad del recurso es clave para cualquier proyecto de provisión de energía a partir de fuentes renovables. Estimar de una manera confiable la disponibilidad del recurso y su variabilidad es una condición sine qua non para definir el tipo de tecnología a ser usado. Lamentablemente en países como Ecuador esta información muchas veces no está disponible, en particular en las regiones remotas en las que se busca implantarlas. La selección e implantación de

una tecnología para luego encontrar que la disponibilidad del recurso no permite producir la energía demandada o prometida, es sin duda una de las razones para que los proyectos fallen.

El costo inicial y el de operación y mantenimiento de una tecnología está asociado a su grado de madurez. Es clave para la provisión de energía a partir de fuentes renovables que la tecnología sea lo suficientemente madura de forma que no tenga problemas operacionales y de mantenimiento, y que por otro lado tenga un precio accesible para la economía de la población del sitio donde se va a instalar. Se debe buscar evitar seleccionar e instalar tecnologías no completamente probadas, y si esto se intenta, hay que ser completamente honestos con los usuarios para hacérselo conocer, ellos tienen derecho a saber con que tipo de problemas podrían estarse presentando.

La experiencia nacional y local con la tecnología es un aspecto de importancia para poder mantener los proyectos operando. Es decir, se requiere que para la tecnología a instalarse exista personal, talleres, equipamiento, herramientas, software, y otras tecnologías de soporte a nivel local o al menos a nivel nacional, para garantizar que las necesidades de asesoramiento o mantenimiento están disponibles para los usuarios. Se debe evitar diseñar proyectos con tecnologías tan sofisticadas que no exista en el país suficiente know-how para operarlas y mantenerlas.

En ocasiones, versiones de desarrollo temprano de una tecnología, pudieron haber sido introducidas en las comunidades, y debido a ese grado de insipiente, las comunidades pudieron haber desarrollado una percepción negativa frente a éstas, alternativamente una experiencia previa positiva podría haber desarrollado una percepción positiva. Es importante conocer esta situación al inicio en la formulación de un proyecto debido a que una percepción negativa podría atentar contra su éxito si la tecnología, aún ya completamente superados los problemas de desarrollo, se intenta introducir sin tomar las provisiones para manejarlas. Es importante entonces considerar esto como un criterio para el momento de seleccionar una tecnología.

Otro de los aspectos a considerar en la selección de una tecnología para energización rural es la demanda de capacidad para operar y mantenerla. Esto es importante porque parte de la operación y mantenimiento de los equipos debe ser hecha por la misma comunidad usuaria. A medida que la tecnología es más compleja, más lo es su operación y mantenimiento, por lo que demanda de mayor capacitación de parte de los usuarios. Este nivel de capacitación puede no existir en una particular situación.

El grado de acople tecnología-desarrollo local es importante debido a que esto determina por un lado que tan rápido la capacidad del equipo puede quedarse corta y requerirse de una expansión y por otro lado determina las posibilidades de repago de la tecnología instalada (o aun la creación de un

fondo de reposición para los equipos). Ambos aspectos son clave para el éxito de los proyectos. Este acople debe ser investigado y eventualmente proyectado a partir de las posibilidades de desenvolvimiento productivas de la comunidad beneficiaria. Esto demanda un cabal entendimiento de las potencialidades productivas del sitio y comunidad potencialmente beneficiarias.

El tipo de servicio demandado es importante en la selección de la tecnología que se puede aplicar, por tanto una investigación clara del tipo de servicio y su proyección tiene que ser considerada en el proceso de diseño de un proyecto.

El compromiso real de la comunidad usuraria/beneficiaria para tomar a cargo la operación y el mantenimiento es otro factor importante. Este compromiso se debe determinar de manera formal o aún informal pero si no existe simplemente no existe proyecto. Es importante, sin embargo, tomar en consideración que el nivel de compromiso de la comunidad puede cambiar acorde con el desempeño experimentado con cualquiera de las fases del proyecto, por lo que durante todas las fases del proyecto este debe ser monitoreado.

Algunos de estos factores pueden ser interdependientes y parte del trabajo necesario para tamizar las tecnologías requiere que estas interdependencias sean adecuadamente identificadas dado que la mayoría de los modelos de toma de decisiones requiere que los factores que se deban considerar sean independientes (ver sección siguiente). Esto se puede manejar clasificando algunos factores como sub-factores de un factor que los incluya.

El tipo de problema que se va a atacar es el de selección de tecnologías de energías renovables para aplicaciones rurales y se asume en principio que se tiene el compromiso de las comunidades para tomar a cargo su operación y mantenimiento y que por otro lado se han identificado plenamente los servicios energéticos demandados. En el marco del proyecto Andenergy se han identificado tres comunidades rurales y el tipo de servicio energético demandado por lo que lo que se busca es establecer un tamizado de las tecnologías que podrían usarse en estas comunidades para satisfacer algunas de las demandas identificadas.

ESQUEMA DE TAMIZADO DE TECNOLOGÍAS DE ENERGÍAS RENOVABLES

Como se ha visto, la selección de tecnologías de energías renovables para aplicaciones en comunidades rurales no servidas en general debe considerarse un problema sitio-específico y es un problema que requiere la consideración de varios factores que. Se propone un esquema de tamizado de las tecnologías que permita considerar al mismo tiempo todos los factores descritos previamente. El problema es de toma de decisiones (en este caso de selección) multicriterial.

Este tipo de problemas también debiera considerar múltiples perspectivas, no solo la de los desarrolladores de proyectos, pero también la de los usuarios, los entes financiadores y quizás el de los organismos de desarrollo que potencialmente pudieran estar involucrados. El problema es entonces de múltiple criterio y múltiple perspectivas².

En problemas en los que se requiere considerar al mismo tiempo diferentes factores que influyen sobre una decisión, se debe considerar de manera sistemática la importancia relativa de los diferentes factores. Los modelos deben poder acomodar también las múltiples perspectivas para la toma de decisión. Se requieren modelos acordes con la complejidad del problema [5].

Los enfoques para toma de decisiones se pueden ver como una pirámide que en la base tienen a la toma de decisiones basada en la intuición, luego a los heurísticos, los modelos de pesado por importancia y finalmente a los de análisis de valor. Los primeros dos enfoques no guardan concordancia con la complejidad del tipo de problema que se analiza en este trabajo, la misma que demanda de modelos de orden superior, es decir los correspondientes a la categoría de pesado por importancia o los de análisis de valor.

El problema con los modelos de análisis de valor es que si bien la calidad del resultado del proceso es muy alta, el esfuerzo para su desarrollo es muy alto y la claridad de sus resultados para el tomador de decisión es muy baja, lo que dificulta su utilización y aún su comunicación. Los métodos de pesado por importancia parecen ser los más adecuados para el tipo de problema de interés dado que si bien la calidad de la decisión que proveen estos modelos es alta, el esfuerzo que demandan es solo de moderado a alto, pero la claridad de sus resultados es alta, lo que contribuye a que su comunicación sea manejable y su uso replicable. En este trabajo, por tanto, se escoge trabajar con modelos de pesado por importancia.

Entre los modelos de pesado por importancia están los simples de asignación de puntos entre los diferentes factores y métodos más estructurados de comparación pareada de factores como el Proceso Analítico de Jerarquización [6], [7]. Si bien el proceso de pesado de importancia simple de asignación de puntos entre los diferentes criterios puede presentar inconsistencia, es un método que permite de una manera rápida arribar a la asignación de pesos. Si el proceso es adecuadamente documentado, el proceso y los resultados pueden ser comunicables y replicables en posteriores aplicaciones.

² El nivel de desarrollo del trabajo aún no ha llegado al punto de incluir las perspectivas de todos los potenciales involucrados y solo se ilustra la forma que podría tomar este proceso usando el criterio de los tres autores como técnicos.

Los principios del PAJ están explicados en la literatura [6], [7] y el marco incluye los siguientes pasos [8]:

- 1) El desarrollo de una jerarquía para el problema de decisión en términos de un objetivo global, criterios, sub-criterios y las alternativas sobre las que se va a tomar una decisión. (Ver Figura 1)
- 2) La determinación de las prioridades relativas de los criterios y sub-criterios por

medio de comparaciones pareadas de su importancia con respecto al elemento del nivel superior.

3) Calificar las alternativas con respecto a los sub-criterios.

4) Calcular las calificaciones globales para las alternativas pesando la calificación de cada una con las prioridades relativas de los criterios y sub-criterios.

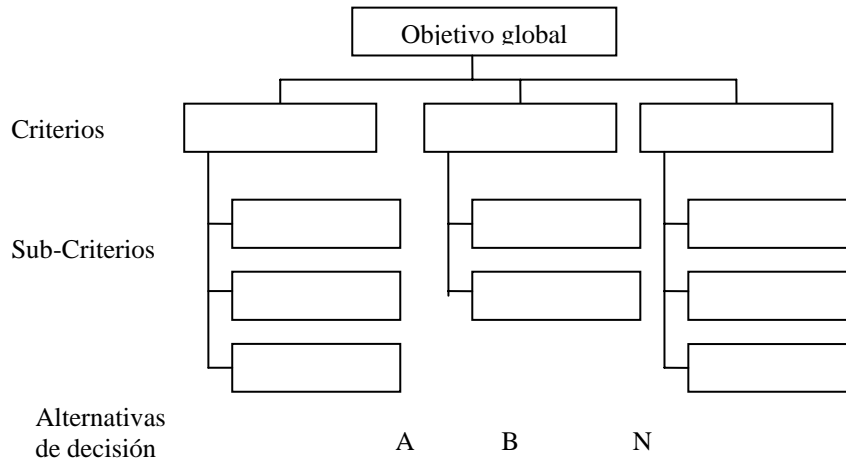


Figura 1. Jerarquía para PAJ

Para la efectiva aplicación del PAJ la estructura jerárquica debe contener criterios y sub-criterios que sean independientes, no-redundantes y aditivos [8]. En este trabajo se utiliza el PAJ. La jerarquía construida tiene en su nivel más alto la calificación respecto a la sostenibilidad de la tecnología. La jerarquía desarrollada para la tarea de tamizar tecnologías de energías renovables para uso en industrias y servicios rurales se muestra en la Tabla 1.

En la determinación de la importancia relativa de los sub-factores respecto a los factores y la de estos respecto al objetivo global existen dos enfoques posibles, el uno determinarla de manera general, es decir un proceso que desembocaría en un conjunto de prioridades que se aplicarían independientemente de la situación local y del tipo de servicio demandado en dicho sitio, y otro enfoque que sería determinar estas prioridades para cada sitio y tipo de servicio demandado. En el presente trabajo se ha optado por el primer enfoque, es decir determinar la importancia relativa de los factores y sub-factores de una manera general y aplicar las importancias relativas así derivadas para los casos de estudio³.

Tabla 1 Jerarquía para el problema: Segundo y tercer niveles

Segundo nivel: Factores	Tercer Nivel Sub-factores
Disponibilidad del recurso	DR1 Abundancia DR2 Estacionalidad DR3 Costo explotación
Madurez y costo de la tecnología	MC1 Madurez MC2 Costo
Experiencia nacional/local con la tecnología	ENC1 Experiencia nacional ENC2 Experiencia local
Demanda de capacidad para operar y mantener la tecnología	DC1 Operar DC2 Mantener
Percepción de la comunidad con la opción tecnológica	PP1 Percepción Positiva PP2 Percepción Negativa
Acople tecnología-desarrollo local	ATD1 Permite expansión ATD2 Acople justo a condición actual ATD3 Atención a solo parte de demanda

En la determinación de la importancia relativa de los sub-factores respecto a los factores y la de estos

algún sitio o tipo de servicio demandado. Esto será investigado en un trabajo posterior.

³ Este enfoque tiene la ventaja de que resta complejidad a la solución del problema, pero se corre el riesgo que las jerarquías así determinadas sean rígidas y potencialmente inadecuadas para

respecto al objetivo global existen dos enfoques posibles, el uno determinarla de manera general, es decir un proceso que desembocaría en un conjunto de prioridades que se aplicarían independientemente de la situación local y del tipo de servicio demandado en dicho sitio, y otro enfoque que sería determinar estas prioridades para cada sitio y tipo de servicio demandado. En el presente trabajo se ha optado por el primer enfoque, es decir determinar la importancia relativa de los factores y sub-factores de una manera general y aplicar las importancias relativas así derivadas para los casos de estudio⁴.

La determinación de la importancia relativa se efectuó usando preguntas como la mostrada en la Figura 2 para determinar la importancia relativa del sub-factor ATD1 y los otros dos factores respecto al acople tecnología-desarrollo local. El modelo de pregunta mostrado es adaptado de [9] y la escala es la recomendada por Saaty (Ver [6], [7]). Los autores trabajaron en una sesión para determinar las prioridades usando Expert Choice®, tratando de mantener el coeficiente de inconsistencia en nivel aceptable. La pantalla del programa usado es similar a la mostrada en la Figura Los resultados de las prioridades se muestran en las Tabla 2⁵. Estas prioridades se utilizaron para calificar las alternativas y arribar a una calificación frente al objetivo global declarado. Si bien el esquema desarrollado está orientado a un tamizado de tecnologías, en este trabajo se lo aplica para un reducido número de tecnologías para demostrar su utilización y evaluar su potencial.

Para el esquema de calificación de cada alternativa con respecto a cada sub-factor se utilizó una escala simple de puntaje de 0 a 10. Una escala para la asignación de calificaciones en este rango está en proceso de desarrollo. Los autores en grupo calificaron las alternativas asignando puntos en la escala mencionada. La calificación de cada alternativa se obtuvo por el método aditivo por el que la calificación final es la sumatoria de las calificaciones de cada alternativa para cada factor, la que a su vez es una sumatoria pesada de las calificaciones de cada alternativa respecto a cada uno de los sub-factores.

⁴ Este enfoque tiene la ventaja de que resta complejidad a la solución del problema, pero se corre el riesgo que las jerarquías así determinadas sean rígidas y potencialmente inadecuadas para algún sitio o tipo de servicio demandado. Esto será investigado en un trabajo posterior.

⁵ Como se mencionó anteriormente, cada uno de los autores actuó como experto para la determinación de las prioridades usando el PAJ trabajando en grupo por lo que las prioridades son el resultado del consenso del grupo.

DESCRIPCIÓN DE CASOS DE ESTUDIO

Ozogoche Alto

La Comunidad Ozogoche Alto se ubica aproximadamente a 50 Km. de la Comunidad Charicando a orillas de la carretera Panamericana del Cantón Alausí Prov. del Chimborazo. En este lugar se encuentra instalado un sistema de generación pico hidroeléctrico que aprovecha el caudal de agua de un canal que desciende de la laguna Cubillín. Este sistema fue uno de los ocho instalados en el marco de un proyecto auspiciado por el Banco Mundial (ESMAP, 2005) y es el único que se encuentra funcionando debido a que la mayor parte de la población se encuentra actualmente servida por la red. La energía eléctrica generada en la pichidro es utilizada en iluminación de unas cabañas-hospedería de la Asociación "Cabañas de Ozogoche" localizadas en el ingreso del Parque Nacional Sangay. Esta asociación está conformada por 6 familias con un promedio de 7 miembros por familia y cuenta con aval del Ministerio del Ambiente. Las representantes de la Asociación establecieron como necesidad para poder brindar un mejor servicio a los turistas, contar con una segunda turbina que permita no solo iluminar pero también proveer electricidad suficiente para equipos de sonido, radio y eventualmente equipos de televisión con DVD para entretenimiento de los turistas. En una segunda visita esta necesidad fue corroborada. Si bien la red eléctrica llega hasta el pueblo, la extensión de la misma hasta las cabañas, ubicadas a unos 500 m de la red, la comunidad estimó era muy cara y prefieren la provisión de electricidad con pichidro. En el sitio existe la posibilidad de instalar una segunda turbina para satisfacer el requerimiento de iluminación y algunos de los otros usos potenciales especificados. También se estimó disponibilidad de energía solar para generación fotovoltaica. En este trabajo se compara la instalación de una pichidro, la extensión de la red y la instalación de un sistema fotovoltaico para abastecer a las cabañas con energía extra para mejor atención a los turistas. Como base para el proceso de calificación de las alternativas usando el proceso de tamizado aquí desarrollado se ha elaborado la Tabla 3 en la que se presentan las ventajas y desventajas de cada una.

¿Cual es la importancia relativa que Ud asignaría al sub-factor la alternativa permite expansión respecto a los otros sub-factores al calificar el desempeño potencial de una alternativa respecto al acople tecnología-desarrollo local? Favor compare los temas y marque su respuesta usando la siguiente escala:

1=Igual; 3=Moderada; 5=Fuerte; 7=Muy fuerte;
9=Extrema

Importancia Creciente Importancia Decreciente

Permite expansión	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Acople justo a condición actual
Permite expansión	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Atención a solo parte de demanda

Figura 2 Pregunta tipo para determinar importancia relativa

Tabla 2: Prioridades de los factores y sub-factores

Segundo nivel: Factores	Tercer Nivel Sub-factores
Disponibilidad del recurso: 0,417	DR1 Abundancia: 0,464 DR2 Estacionalidad: 0,281 DR3 Costo explotación: 0,255
Madurez y costo de la tecnología: 0,215	MC1 Madurez: 0,667 MC2 Costo: 0,333
Experiencia nacional/local con la tecnología: 0,073	ENC1 Experiencia nacional: 0,333 ENC2 Experiencia local: 0,667
Demanda de capacidad para operar y mantener la tecnología: 0,053	DC1 Operar: 0,750 DC2 Mantener: 0,250
Percepción de la comunidad con la opción tecnológica: 0,132	PP1 Percepción Positiva: 0,167 PP2 Percepción Negativa: 0,833
Acople tecnología-desarrollo local: 0,111	ATD1 Permite expansión: 0,701 ATD2 Acople justo a condición actual: 0,193 ATD3 Atención a solo parte de demanda: 0,106

Tabla 3. Alternativas de provisión de electricidad a cabañas de Ozogoché Alto

Alternativa	Ventajas	Desventajas
- Agregar más turbinas picohidráulicas	- Sencillo - Económico - Potencial turístico - Independencia	- No mucha potencia - Demanda de O&M local
- Implementar paneles fotovoltaicos	- Potencial turístico	- Costoso
- Conexión a red	- Más potencia - No se requiere O&M local	- No 100% renovable - Percepción negativa de

Alternativa	Ventajas	Desventajas
		comunidad - Costo - Perdida atractivo turístico - Dependencia

Cerrito de los Morreños

El pueblo de “Cerrito de los Morreños” está localizado en una isla en la parte central del estuario interior del Golfo de Guayaquil, a aproximadamente 1 hora de viaje en canoa a motor fuera de borda desde Guayaquil. “Cerrito” es una de las comunidades usuarias de los recursos bioacuáticos de la Región Especial “Golfo de Guayaquil”. La Comuna está integrada por 140 familias de 8 a 10 miembros, con una población fija de 650 personas. La población es de escasos recursos económicos; el 90% de dedica a la pesca de jaibas, moluscos, cangrejos, conchas y aproximadamente el 10% se dedica al corte selectivo de mangle. La comunidad tiene problemas de abastecimiento de agua y energía eléctrica permanente y confiable. La primera necesidad en la actualidad esta temporalmente solucionada dado que una granja camaronera les provee de 70 m³ de agua por mes (aprox. 17.000 litros). Esta solución, sin embargo, no se considera sustentable. Una iniciativa de abastecimiento de agua por pozo ha resultado fallida porque el agua del pozo empezó a proveer agua salobre. La comunidad posee tres paneles que proveen electricidad a una escuela para equipos de computación e iluminación. Existe también una experiencia previa de un destilador solar que actualmente está en desuso. La necesidad de acceso a agua potable para uso doméstico se ha identificado como un problema a resolver. La comunidad quiere ser identificada como una comunidad ambientalmente sustentable.

En Cerrito existe potencial solar para generación eléctrica mediante celdas fotovoltaicas. En términos de valoración de los recursos energéticos, no existen mediciones en el sitio pero es una zona de incidencia solar media-alta con cielo generalmente despejado, la que se considera adecuada para generación fotovoltaica distribuida y para aplicaciones térmicas. Existe un cerro de alrededor de 60 m de altura en donde podría existir viento que podría utilizarse para generación eléctrica o bombeo de agua. No hay registros de velocidad de viento, aunque residentes locales y expertos del MEM afirman que durante la noche y durante ciertas temporadas al año, el viento sopla en gran medida.

Agua potable: Se ha verificado que el abastecimiento de agua potable en la Comuna es un problema que puede empeorarse en vez de mejorar, por lo que este recurso puede obtenerse, para uso doméstico y aseo personal, a partir del agua salobre mediante destilación solar. Se analizará las

opciones de sistemas domésticos individuales contra la opción de un sistema centralizado para abastecer toda la población. Como base para el proceso de calificación de las alternativas usando el proceso de tamizado aquí desarrollado se ha elaborado la Tabla 4.

Tabla 4. Alternativas de provisión de agua por destilación solar

Alternativa	Ventajas	Desventajas
- Sistemas domésticos individuales	- Independencia familiar - Bajo costo relativo	- Existe una mala experiencia local con destilador solar doméstico
- Sistema centralizado	- Desempeño - Facilidad expansión - Desarrollo de capacidades	- Demanda técnica - Costo inicial - Costo O&M

Barcelona

La Comuna Barcelona se encuentra ubicada al Noroeste de la Provincia del Guayas a aproximadamente a 200 Km. de Guayaquil. La comuna está localizada en una región donde se procesa paja toquilla utilizada para elaborar sombreros. La Asociación Artesanos de Paja Toquilla de 60 familias de esta comunidad, ha recibido asistencia técnica para mejoramiento de los procesos de cocimiento, secado y blanqueo de la paja por parte de técnicos de la ESPOL. El uso de leña en dos hornos para cocimiento de la paja se ha reducido por mejoras de los hornos. La paja toquilla que se procesa en Barcelona proviene de plantaciones manejadas localizadas a 20 km. al norte de la Comuna. Una demanda identificada es el uso de energía en la cocción de la paja, que aún requiere de mejoras; en la actualidad el combustible utilizado es leña. Alternativamente se considera el uso de GLP o paja para la cocción. La optimización de los hornos sería beneficiosa, pues se utilizaría la menor cantidad de combustible posible cualquiera que este fuere. La colección de la leña demanda muchas horas-hombre por tanto la reducción de la demanda es algo positivo y liberará horas hombre para dedicarlas a la producción.

Existe la posibilidad de sustituir la leña por gas licuado de petróleo, que si bien es un combustible fósil y por tanto no renovable, su uso implica mayor limpieza, facilidad de provisión y reducción de impactos a la salud humana de las emisiones de la combustión de leña. Adicionalmente existe la opción de usar paja para el quemado. Como base para el proceso de calificación de las alternativas usando el proceso de tamizado aquí desarrollado se ha elaborado la Tabla 5.

Tabla 5. Alternativas de fuente de calor para cocción de paja

Alternativa	Ventajas	Desventajas
- Leña con horno optimizado	- Ya existe pericia en uso de tecnología - Reduce el consumo de leña - Reduce tiempo de cocción	- Requiere de colección de leña
- GLP con horno optimizado	- Fácil adquisición - Combustión mas limpia que la de leña	- Malas experiencias en cuanto a la seguridad usándolo - Uso GLP con precio subsidiado para domicilios en aplicación industrial - Combustible fósil,
- Paja como combustible con horno optimizado	- Posibilidad de manejar el cultivo energético (igual que materia prima).	- No hay experiencia en el uso de paja como combustible - Se utilizaría materia prima como combustible - Podría requerirse sistema de gasificación de paja

RESULTADOS

Los resultados de la calificación de las tres opciones para el caso de Ozogoché se muestran en la Tabla 6 para el último nivel de la jerarquía y la calificación global obtenida.

Tabla 6. Resultados de calificación de las alternativas

Tercer Nivel Sub-factores	Pico	Solar FV	Ext. Red
DR1 Abundancia	0,438	0,250	0,313
DR2 Estacionalidad	0,250	0,250	0,500
DR3 Costo explotación	0,438	0,250	0,313
MC1 Madurez	0,309	0,309	0,382
MC2 Costo	0,500	0,214	0,286
ENC1 Experiencia nacional	0,231	0,231	0,538
ENC2 Experiencia local	0,738	0,105	0,157
DC1 Operar	0,386	0,290	0,324
DC2 Mantener	0,381	0,238	0,381
PP1 Percepción Positiva	0,646	0,283	0,072
PP2 Percepción Negativa	0,077	0,308	0,615
ATD1 Permite expansión	0,309	0,309	0,382
ATD2 Acople justo a condición actual	0,224	0,553	0,224
ATD3 Atención a solo parte de demanda	0,250	0,250	0,500
Calificación Global	0,357	0,282	0,361

Se observa que el proceso PAJ seguido arroja que la opción de extensión de la red es la mejor para abastecer las necesidades de la comunidad bajo el esquema de prioridades asignado en este trabajo. En situaciones como esta en las que existe muy poca diferencia entre las opciones, la siguiente opción tiene 0,357 comparado con el 0,361 de la primera, hace necesario que se revisen cuidadosamente las prioridades y analice la robustez de la selección al variar alguno de los factores o sub-factores que se consideran mas sensibles, es decir los que se han definido como de mayor prioridad o aquellos sobre los que exista mas incertidumbre.

CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta el desarrollo y aplicación de un esquema para tamizado de tecnologías de energías renovables para provisión de energía en industrias y servicios rurales en tres comunidades ecuatorianas. Necesidades identificadas incluyeron: provisión de electricidad para mejorar servicios de hospedaje en una comunidad alto-andina; provisión de agua potable en una comunidad isleña; mejoramiento de proceso de cocción de paja en una comunidad del litoral.

Se incluyeron como criterios de tamizado la disponibilidad del recurso, la madurez y costo de la tecnología, la experiencia nacional y local con la tecnología, la experiencia previa de la comunidad con la opción tecnológica, la demanda de capacidad para operar y mantener la tecnología, y el grado de acople tecnología-desarrollo local.

Se desarrolló un modelo de tamizado basado en PAJ y se utilizó Expert Choice para resolver el modelo y se ilustró su aplicación con uno de los casos, el de provisión de energía eléctrica para una comunidad alto-andina de Ecuador. Se compararon

las opciones de provisión por pico-hidro, solar fotovoltaica y extensión de la red, habiéndose encontrado que el modelo predice que la opción de extensión de la red es ligeramente superior que la instalación de una pico-hidro y bastante mejor que la solar. La cercanía de las calificaciones de las dos primeras opciones sugiere que en situaciones como esta se revisen cuidadosamente las prioridades y se analice la robustez de la selección haciendo análisis de sensibilidad a factores o sub-factores que se hayan definido como de mayor prioridad o sobre los cuales exista más incertidumbre.

Se deberá continuar refinando el modelo para hacerlo robusto, analizar el efecto de desarrollar prioridades sitio o caso específicas, incorporar los juicios de otros expertos y de los involucrados y eventualmente considerar el efecto de incluir el posible efecto que sobre las prioridades tengan las tecnologías a evaluarse.

REFERENCIAS

1. Banco Mundial Proyecto de Modernización del Sector Eléctrico y Telecomunicaciones del Ecuador-PROME, Documento de Proyecto, 2004.
2. Egas Diego, Comunicación Privada, Guayaquil, 2006
3. Duque Jorge, Reporte paquete de trabajo 2, Proyecto Andenergy, 2007. Inédito.
4. Barriga Alfredo, Presentación en Seminario de Energías Renovables para alivio de pobreza. Proyecto Andenergy, Guayaquil, Diciembre 2006.
5. Schoemaker P. J. H. y Russo J. E. "A Pyramid of Decision Approaches". California Management Review. Fall. 1993. Págs 9- 31.
6. Saaty T.L., How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. Interfaces, 24:6, 19-43. 1994
7. Saaty T. L., "Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process". AHP Series Vol. VI. RWS Publications. 2001.
8. Rangone A. "An analytical hierarchy process framework for comparing the overall performance of manufacturing departments". *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 6, No.8, 104-119. 1996.
9. Pun K.F. y Hui I.K., "An Analytic Hierarchy Process Assessment of the ISO 14001 environmental management System". *Integrated Manufacturing Systems* 12/5 (2001). 333-345.