

Energías alternativas en Colombia, con énfasis en los biosistemas integrados*

Ricardo Alvarez-León³²

RESUMEN

Colombia, como país en vías de desarrollo, sigue buscando encaminar su futuro energético en tecnologías renovables que no dependan de la volatilidad de los precios del petróleo, ya que sus reservas actuales tan solo suplirán la demanda interna en el corto plazo (SNE - PRC, 2007; Portafolio. 2008); en el caso del carbón y gas natural, se cuenta con reservas suficientes para el próximo decenio pero tienen la problemática de la producción de gases de efecto invernadero.

Tradicionalmente, Colombia ha estado a la vanguardia en el uso de energía hidroeléctrica. No obstante, aunque es una energía renovable, conlleva dificultades ambientales por las grandes zonas de inundación generadas en estos proyectos que, debido a la alta biodiversidad existente, puede destruir por completo el hábitat de algunas especies únicas en el mundo (Polo et al., 2006).

Por tanto, sectores públicos y privados hacen esfuerzos por adoptar diversos tipos de energías renovables (por ejemplo la energía eólica) (EPM, 2007). Existe pues un interés en el desarrollo de proyectos piloto pequeños con el fin de probar las tecnologías en el país. En los océanos podemos distinguir dos tipos de corrientes: las oceánicas y las corrientes inducidas por mareas. Las corrientes oceánicas se presentan por diversas causas, entre ellas el viento, las diferencias de temperatura y de salinidad, y la rotación de la tierra (Polo et al., s.f.).

Según el CVN (s.f.), Colombia es una potencia en energías alternativas, pero el agotamiento de las fuentes tradicionales de energía (combustibles fósiles) ha puesto a la mayoría de países del mundo a encontrar soluciones en energías alternativas. Colombia tiene un gran potencial en la generación de este tipo de energías por su posición geográfica y ya está trabajando en ello. Las energías alternativas o renovables son las que se aprovechan directamente de recursos considerados inagotables como el sol, el viento, los cuerpos de agua, la vegetación y el calor interior de la tierra.

Vale la pena aclarar que el hecho de que una energía sea renovable no implica que no produzca efecto invernadero debido a la producción de CO₂ u otras sustancias propias de la combustión. Lo que sí sucede es que la generación a partir de plantaciones ya ha compensado durante el cultivo por absorción de CO₂ y producción de O₂ el impacto que generará durante la combustión. (J. C. Garrido-Marulanda, com. pers., 2012)

La Agencia Internacional de Energía (AIE) afirma que la base de la vida moderna del mundo depende en un 80% del petróleo y que a medida que los países se industrializan y sus poblaciones aumentan, también crece el consumo de energía. En Colombia la producción de energía primaria proviene de la hidroelectricidad, por la abundancia de agua en la mayoría de zonas del país, y en un segundo lugar de los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón), cuyas reservas ya se están agotando. Por eso el Gobierno colombiano en los últimos años ha invertido en el desarrollo y aplicación de tecnologías alternativas de producción de energía, que funcionen con recursos renovables, para dar

* Fecha de Recepción: mayo 13 de 2012 y fecha de aceptación: junio 15 de 2012

32 Universidad de Manizales. CIMAD / Maestría en Desarrollo Sostenible y el Medio Ambiente. Manizales (Caldas) Colombia. ricardoalvarezleon@gmail.com

solución al problema de la crisis energética mundial y contribuir a un medio ambiente más limpio. (CVN, s.f.)

Palabras claves: Potencial de Energías alternativas, Energías Renovables. Biosistemas integrados.

ABSTRACT

Colombia, as a developing country, is looking to direct their future renewable energy technologies that do not depend on the volatility of oil prices, as their only current reserves will supply domestic demand in the short term (SNE - PRC, 2007 Portfolio. 2008), in the case of coal and natural gas reserves have been sufficient for the next decade but have the problem of the production of greenhouse gases. Historically, Colombia has been at the forefront in the use of hydropower. However, although it is a renewable energy, environmental difficulties involved by large floodplain generated in these projects, due to the existing high biodiversity, can completely destroy the habitat of unique species in the world (Polo et al. 2006). Therefore, public and private sectors are making efforts to adopt various types of renewable energy (eg wind power) (PMA, 2007). There is therefore an interest in the development of small pilot projects to test the technologies in the country. In the oceans we can distinguish two types of flows: the ocean and the currents induced by tides. Ocean currents are presented for various reasons, including the wind, differences in temperature and salinity, and the rotation of the earth (Polo et al., Nd). According to the CVN (sf), Colombia is a powerhouse in alternative energy, but depletion of traditional energy sources (fossil fuels) has made most countries of the world to find alternative energy solutions. Colombia has great potential in the generation of this type of energy by its geographical position and is already working on it. Alternative or renewable energies are directly taking advantage of resources considered inexhaustible as the sun, wind, water bodies, vegetation and the heat inside the earth. It is worth noting that the fact that renewable energy does not mean that it does not produce greenhouse due to the production of CO₂ or other substances from combustion. What happens is that if generation from plantations and cultivation have compensated for CO₂ absorption and O₂ production the impact generated during combustion. (J. C. Garrido-Marulanda, pers. Comm., 2012) The International Energy Agency (IEA) says that the basis of the modern life of the world depends on oil to 80% and that as countries industrialize and their populations increase, so does the power consumption. In Colombia, the primary energy production comes from hydropower, for the abundance of water in most parts of the country, and in second place of fossil fuels (oil, gas and coal), whose reserves are already depleted. So the Colombian government in recent years has gone into the development and application of alternative technologies for energy production, operating with renewable resources, to solve the problem of global energy crisis and contribute to a cleaner environment. (CVN, S.F.)

Keywords: Potential Alternative Energy, Renewable Energy. Integrated Biosystems.

Energías renovables

Colombia se ha considerado un país privilegiado en lo relacionado a la energía renovable o alternativa, pues cuenta con una base instalada superior al 70% de energía hidráulica, lo cual lo hace un candidato excelente para ser un país con poca huella de carbono en la medida que sus vehículos se conviertan a híbridos (electricidad + gasolina) y utilicen energía hidráulica. Lo contrario sucede con países como Estados

Unidos y China, que para obtener su energía ponen en funcionamiento generadoras termoeléctricas que usan carbón lo cual termina convirtiéndose en una simple mentira publicitaria. (J. C. Garrido-Marulanda, com. pers., 2012)

Durante los últimos 20 años se han tomado decisiones enfocadas a promover la generación térmica debido a dos fenómenos del Niño (baja en las lluvias promedio), uno que se presentó entre 1991 y 1992 y el otro que se presentó entre 1997 y 1998. El esquema consiste en encender las termoeléctricas cuando el nivel de los embalses está disminuyendo debido a estos fenómenos climáticos incluida la garantía de suministro de combustible para las centrales termoeléctricas (principalmente gas natural) con el fin de no afectar al sector residencial. Cambió entonces de promedios de 78% de hidráulico y 22% termoeléctrico en 1991 a 67% de hidráulica y 33% de termoeléctrica en 2009. Los valores mínimos de capacidad de la energía hidráulica, se han presentado en 1991 con una capacidad de 1952,6 GW/h, 1022,6 GW/h en 1997 y 1952,6 GW/h en 2009. (UPME, 2011)

En 1999 se crea el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas (IPSE), que se refuerza en el 2000 con el Fondo de Apoyo Financiero para las Zonas no Interconectadas (FAZNI). La mezcla del Instituto y el Fondo han servido para promover la implementación de importantes y exitosos proyectos a nivel nacional relacionado con la utilización de biocombustible para generación de energía, uso de energía solar y eólica, al igual que mezcla de las tres en zonas alejadas de las cabeceras urbanas. Se han realizado por ejemplo cultivos de jatrofa (*Jatropha curcas*) para producción de biocombustibles y utilización de residuos forestales en la costa Caribe, ambos para generación eléctrica. (UPME 2011)

En el 2001, con el ánimo de crear una herramienta para consolidar y homologar la información del sector, se estableció mediante el actual Código de Minas (Ley 685 de 2001) la creación del Sistema de Información Minero Colombiano (SIMCO) con el cual se pretende suministrar en forma oportuna y confiable las estadísticas oficiales básicas mineras nacionales y otra información internacional de interés. El Ministerio de Minas y Energía, mediante Resolución 181515 de 2002, delegó a la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) la administración del SIMCO, en razón a que esta última es la encargada del suministro de las estadísticas oficiales del sector minero.

La capacidad de generación del sistema en Colombia tuvo un incremento del 42% entre 1990 y 2009, pues se pasó de 9.500 MW a 13.543 MW, de los cuales únicamente 65 MW pertenecen a fuentes diferentes a la generación hidroeléctrica y termoeléctricas de gas y carbón. La cifra es realmente insignificante debido a la inmensa disponibilidad actual de suministros de agua para las hidroeléctricas y la disponibilidad de gas natural y carbón en el país. De esta cifra de 83 MW, 19,5 MW

son generados por turbinas eólicas y el resto es una combinación entre cogeneración, energía solar y generadores diesel.

Tabla 1. Capacidad de generación (MW) en Colombia, (UPME, 2011)

FUENTE DE ENERGÍA	2002	2010
Hidráulica	8.997	9.026
Gas	3.679	3.759
Carbón	690	700
Eólica	0	19
Otros	13	65
TOTAL	13.379	13.569

Dentro de la categoría de “otros” también se tiene en cuenta la cogeneración que corresponde a la energía que genera la industria para autoabastecer sus requerimientos de energía eléctrica y térmica a partir de un solo combustible que puede ser carbón, bagazo de caña de azúcar o cualquier otro residuo de cultivos o industriales que puedan entregar energía en calderas y turbinas de generación. Es un sistema de mayor eficiencia energética pues a partir de un sólo combustible se obtienen dos energías con la ventaja para la industria de poder entregar al sistema interconectado de energía eléctrica de Colombia cualquier superávit de energía resultante, con lo cual no sólo obtiene beneficios por no comprar energía eléctrica, sino que puede obtener ganancias adicionales.

Esto favorece el ambiente, pero principalmente enfocado a la vulnerabilidad del país ante algún nuevo fenómeno del Niño, en 2009 comenzó una campaña enfocada en el uso racional de la energía en cabeza del Ministerio de Minas y Energía.

Cada una de las energías renovables implica diferentes tipos de tecnologías con las cuales se obtiene energía en forma de electricidad, fuerza motriz, calor o combustibles. Se han clasificado en seis grupos principales de energía: solar, eólica, de biomasa, hidráulica, de los océanos y de la geotermia. (CVN, s.f.)

Según ESMAP (2010) la capacidad instalada de las diferentes energías utilizadas en Colombia, y procedentes de la Hidroeléctricas 8994 MW, Gas Natural 3702 MW, Carbón 700 MW, Viento 18 MW y, Otras fuentes 26 MW.

Tabla 2. Disponibilidad de Energías Renovables en Colombia, WIKIPEDIA (2005) estimadas para el 2005.

FUENTE DE ENERGÍA	TECNOLOGÍA	COSTO EN DÓLARES (US\$ / KW)
Hidroeléctricas	Embalse (represa)	700-1,700
Energía solar	Sistemas solares fotovoltaicos	5,000-10,000
Viento (en costas)	Generación de electricidad	1,500-4,000
Biomasa	Combustión directa	2,800-5,000
Energía geotérmica	Generación de electricidad	3,000-5,000 (pequeña escala) 1,500-2,500 (gran escala)

Energía solar. Es la fuente primaria de luz y calor en la tierra, por esta razón se puede considerar como una fuente renovable; para

generarla, se usa como fuente la radiación solar que llega a la Tierra. Este tipo de energía es gratuita, no genera emisiones y es silenciosa. Además es una de las pocas tecnologías renovables que pueden ser integradas al paisaje urbano y es útil en zonas rurales de difícil acceso. En Colombia se podría generar en mayor escala en las zonas del Magdalena, La Guajira, San Andrés y Providencia. (CVN, s.f.)

Tabla 3. Disponibilidad de Energía Solar en Colombia por Regiones, según la Red de Energía Alternativas (López, 2008)

REGIÓN	KW / HORA / M2 / AÑO
Guajira	2.190
Costa Caribe	1.825
Orinoquía	1.643
Amazonia	1.551
Andina	1.643
Costa Pacífica	1.278

Energía Eólica. El viento es aire en movimiento, una forma indirecta de la energía solar, este movimiento de las masas de aire se origina por diferencia de temperatura causada por la radiación solar sobre la tierra. Cuando el aire se calienta, su densidad se hace menor y sube, mientras que las capas frías descienden, así se establece una doble corriente de aire. La energía eólica puede transformarse principalmente en energía eléctrica por medio de aerogeneradores, o en fuerza motriz empleando molinos de viento. Es una energía segura y gratuita, pero tiene las desventajas ya que la velocidad del viento es variable y poco confiable, los aerogeneradores producen ruido y la vida silvestre puede verse afectada, ya que existe el riesgo que las aves caigan en ellos y mueran. En Colombia la zona norte cuenta con las mejores potencialidades para generar este recurso. Por ejemplo, en la Alta Guajira, Empresas Publicas de Medellín (EPM) puso en funcionamiento el primer Parque eólico, Jepirachí, con 15 aerogeneradores que aportan 19.5 Megavatios al Sistema Interconectado Nacional. (CVN, s.f.)

Tabla 4. Disponibilidad de Energía Eólica en Colombia por Regiones, según la Red de Energías Alternativas (López, 2008)

REGIÓN	KW / HORA / M2 / AÑO
Cabo de la Vela (Guajira)	3.043
Isla de San Andrés (SAPSC)	2.182
Isla de Providencia (SAPSC)	1.727
Riohacha (Guajira)	829
Soledad (Atlántico)	633
Cartagena (Bolívar)	587
Valledupar (Cesar)	502

De acuerdo con un estudio por el Programa de Asistencia para la Administración del Sector Energético del Banco Mundial, solamente el aprovechamiento suficiente de energía eólica, podría cubrir más de lo que Colombia necesita.

Energía Hidráulica. Es aquella que usa como fuente, la fuerza del agua de ríos y lagos. Se transforma mediante las plantas de generación hidráulica y genera electricidad. La hidroelectricidad es un método altamente eficiente en la generación de electricidad y no contamina. Sólo es aconsejable para los países que tienen climas y topografías apropiadas, como Colombia, donde hay un gran desarrollo de estas infraestructuras. Para generar este tipo de energía se deben construir represas, que pueden incluir la desviación del curso de ríos, inundación de tierras arables y el desplazamiento de personas. Por otro lado, los hábitats silvestres son afectados y los peces pueden morir atrapados en las turbinas y los migratorios se ven afectados al impedirse sus diferentes migraciones (CVN, s.f.). La energía eléctrica de la población colombiana es demandada por los sectores residencial (42,2%), industrial (31,8 %), comercial (18%), oficial (3,8 %) y otros (4,3 %) (UPME 2006; Jiménez-Segura *et al.*, 2011) En la actualidad se realizan estudios técnicos de pre-factibilidad para construir micro-centrales hidráulicas (< de 20 MW) para aprovechar los 25.000 MW potenciales, que llevarían a Colombia a ocupar el segundo lugar en Suramérica, después de Brasil.

Tabla 5. Proyectos en Construcción para generar Energía Hidráulica, según la Red de Energía Alternativas. (López, 2008)

PROYECTO	Capacidad en Megavatios (MW)
Calderas (Antioquia)	26
Trasvase Guarinó (Caldas)	-
Río Amoyá (Tolima)	80
Rio Manso (Caldas)	27
Porce III (Antioquia)	660
Quimbo (Huila)	400
Valledupar (Cesar)	502

Energía de los Océanos. Los océanos cubren más del 70% de la energía terrestre. En ellos se pueden encontrar dos tipos de energía: la térmica que proviene del calentamiento solar y la mecánica a partir de las mareas y las olas. El sol calienta la superficie de los océanos en una proporción muy alta, en comparación con las zonas profundas, de esta manera se crea una diferencia de temperaturas que también puede ser aprovechada, pero es insegura por los fenómenos a que están sujetos los océanos. Colombia, según el UPME, tiene un potencial estimado en los 3100 km de costas colombianas de 30 GW. (CVN, s.f.)

Energía Geotérmica. Proviene del calor procedente del centro de la tierra. Se transforma mediante perforaciones muy profundas para usar la fuerza calorífica bajo la superficie de la tierra para producir electricidad. Esta energía es libre de contaminación, pero cuesta dos o tres veces más de lo normal y es limitada en zonas con actividad tectónica. El Atlas Geotérmico de Colombia destaca como zonas de mayor potencialidad los volcanes Chiles - Cerro Negro, Azufral, Ruíz y el Área Geotérmica de Paipa-Iza. (CVN, s.f.)

Tabla 6. Proyectos en Evaluación para generar Energía Geotérmica, según la Red de Energía Alternativas (López, 2008)

PROYECTO	POTENCIAL
Chiles-Cerro Negro (Nariño)	Alto
Azufral de Túquerres (Nariño)	Alto
Doña Juana (Nariño)	-
Grupo Sotará (Cauca)	-
Puracé (Cauca)	-
Machín (Huila)	Alto
Nevados del Ruiz-Santa Helena (Caldas)	Alto
Cerro España (Caldas)	Alto

Energía de Biomasa. La biomasa es cualquier material de tipo orgánico proveniente de seres vivos que puede utilizarse para producir energía. Se produce al quemar biomasa, como madera o plantas. Utilizan tecnologías que dependen de la cantidad y clase de biomasa disponible. Con los principales sistemas de transformación pueden obtenerse combustibles, energía eléctrica, fuerza motriz o energía térmica. Este tipo de energía emite poco dióxido de carbono y podría ser una solución a los métodos alternativos para eliminar desechos (entierro de basura y quema al aire libre). La dificultad es que requiere alta inversión de capital y su rentabilidad sólo se vería a largo plazo. En Colombia se tienen estudios de producción de biomasa con el bagazo de la caña, que se estima una producción anual de 1.5 millones de toneladas y de cascarilla de arroz, con la que se producen más de 457.000 ton./año. Las zonas más adecuadas para generar esta energía son los Departamentos de Santander del Norte y Santander del Sur, los Llanos Orientales y la Costa del Caribe. (CVN, s.f.).

En el presente estudio se enfatiza la realidad de la utilización de los biosistemas integrados como una alternativa válida no solo para solucionar los problemas ambientales por los residuos sólidos y líquidos de los procesos productivos, sino para la producción de biogás, que garantiza la autosuficiencia de las granjas integrales y la posibilidad de suministrar dicha energía a las granjas vecinas.

Legislación y esfuerzos empresariales

Según Betancur (2009), para la generación eléctrica en Colombia hay unas normas generales (Leyes 142 y 143 de 1994) que en conjunto con las actividades de transmisión, distribución y comercialización, regidas por la neutralidad tecnológica para beneficiar a los usuarios; por tanto, no es viable usar fuentes renovables, con las tecnologías de hoy, mientras sus costos se mantengan sustancialmente mayores que los de las fuentes convencionales (agua, gas, diesel y carbón). Los costos de inversión son los no competitivos, porque los de administración, operación y mantenimiento sí lo son.

La Ley 697 de 2001, sobre Uso Racional de Energía, define como propósito nacional avanzar hacia la utilización de fuentes renovables en pequeña escala y, particularmente, apoya la investigación básica y aplicada para que, con el tiempo, se reduzcan costos y se amplíe la capacidad de energías como la eólica, la solar, la geotérmica o la de biomasa. La Ley 788 de 2002 exime del impuesto a la renta las ventas de energía con fuentes renovables, durante quince años, si se obtienen los certificados de reducción de emisiones de carbono previstos en el Protocolo de Kioto, los cuales generan ingresos a los empresarios. El 50% de estos ingresos tiene que destinarse a programas de beneficio social para gozar de la exención del impuesto. (Betancur, 2009).

En La Guajira, las Empresas Públicas de Medellín (EPM) instalaron generadoras eólicas que forman parte del Sistema Interconectado Nacional. Es un proyecto piloto de investigación y, por tanto, EPM ni busca ni obtiene utilidades, y asume riesgos sobre su sostenibilidad hacia el futuro. Es más un programa de responsabilidad social empresarial que de beneficio a los usuarios. Cuatro años después de su instalación, se ha profundizado en el conocimiento y se han entablado relaciones interculturales con los indígenas de la zona. Desde el punto de vista energético, su impacto sobre la oferta total de electricidad es insignificante (0,1%) y en ningún año pudieron generarse los megavatios esperados. (Betancur, 2009).

Hay algunas regiones apartadas y con baja densidad de población, denominadas Zonas No Interconectadas, cuyos habitantes han tenido un servicio de energía subsidiado por el Estado, pero aun así éste se presta en condiciones precarias. Por esta razón el gobierno nacional, está buscando concesionarios que utilicen energías no convencionales en dichos territorios. (Betancur, 2009).

EPM, así mismo, quiere asociarse con algunas compañías para usar la basura orgánica en rellenos sanitarios: se empezaría en Medellín, y hay otros proyectos en Barranquilla y Pereira. Empresas agroindustriales vienen usando subproductos agrícolas de su proceso productivo para abastecerse de energía eléctrica. La empresa Gas Natural construye una planta para producir un gas distinto de los ampliamente utilizados en el país, usando la biomasa del relleno sanitario de Bogotá. (Betancur, 2009).

La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) aprovecha una pequeña caída de agua para generar parte de la electricidad que requiere para su operación. (Betancur, 2009).

La energía solar se instaló en el Vichada (Estación Experimental Las Gaviotas) en la década de los ochenta y por la misma época se impulsaron programas en conjuntos residenciales en Medellín y Bogotá para calentamiento de agua. En la zona de Caldas la empresa CHEC-EPM ha analizado la posibilidad de generar electricidad con base en la energía geotérmica de su zona volcánica. (Betancur, 2009).

El ardoroso alarmismo por el calentamiento global y, hasta septiembre de 2008, los elevadísimos precios del petróleo, dieron un impulso adicional a las energías renovables. Varios países han venido fijándose metas para reducir emisiones de carbono, al tiempo que se apoyan fiscalmente proyectos de generación eléctrica con fuentes distintas de los fósiles. (Betancur, 2009).

El hecho sin discusión es que mientras la tecnología asociada no avance, sólo con aportes presupuestales de los estados puede pensarse seriamente en una instalación de plantas de esa clase. En los últimos años la investigación y los ensayos han permitido disminuir los costos de generación de las energías solar y eólica, pero todavía siguen costando entre dos y tres veces más que la generación hidráulica y de gas. El sobre costo de la solar es muchísimo mayor: entre diez y quince veces. En el caso de la geotérmica, el diferencial es bastante menor. Sin embargo, en las Zonas No Interconectadas de Colombia la eólica sí es competitiva frente al diesel: alrededor de un 60% más barata. La solar tiene un menor sobre costo: tres veces más que el diesel. (Betancur, 2009).

Investigaciones realizadas por The Pew Charitable Trusts, sobre cómo han sido las inversiones privadas para obtener energía limpia en el transcurso del año pasado, observan que alcanzaron los 243 mil millones de pesos, un crecimiento del 30%, con respecto al 2009.

Esta cifra corresponde a la financiación que han realizado sectores privados en los países que conforman el G-20, que es un foro de cooperación y consultas entre los países industrializados y emergentes. Los sectores de energías alternativas que registraron las mayores inversiones en los países desarrollados fueron el eólico y el solar. Este último aportó el año pasado más de 17 GW de nueva capacidad de generación a nivel global.

Según Pinto-Siabato (2004), Por estos tiempos, dos hechos realzan el interés de la energía en el desarrollo rural. El primero es el auge internacional de tecnologías de energías renovables, basadas en biomasa, biogás, energía solar y eólica, que se suman a las pequeñas plantas hidroeléctricas. Estas son alternativas ciertas para zonas rurales aisladas, dada la inviabilidad económica de llevar servicios de energía por medio de redes de interconexión y por la potencial natural de energías renovables en estas zonas, representado en el brillo solar, viento y caídas de agua permanentes y por la producción silvestre de biomasa. El tamaño y la autonomía de estos sistemas proponen retos tanto al diseño de instituciones óptimas en contextos imperfectos para la administración y la sostenibilidad de las soluciones, como a la discriminación de prioridades en la demanda para atender las actividades de mayor beneficio, y al logro de los objetivos de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), en los casos que aplique.

Un segundo hecho lo conforman las oportunidades derivadas, del mecanismo de desarrollo limpio (MDL) para la mitigación de emi-

siones de GEI, y de las políticas sobre uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y forestación. (LULUCF en inglés), que demandan de los gobiernos receptores el diseño de políticas para su aprovechamiento, así como el establecimiento de metas, estrategias, planes, instituciones y procedimientos para su realización. El Plan Energético Nacional (PEN) 2003-2020 de Colombia, reconoce las energías renovables como una alternativa para zonas aisladas (rurales) y determina que “la identificación de la solución energética debe hacerse con una canasta donde se tenga en cuenta primordialmente la participación de las fuentes locales y se consideren las demandas

potenciales derivadas de proyectos de desarrollo agroindustrial. Una vez identificada y seleccionada la solución energética, es necesario garantizar la recuperación de la inversión (total o parcial, después de los subsidios o aportes estimados como necesarios), y de la totalidad del esquema de operación y mantenimiento..., mediante la generación de excedentes productivos.” (UPME, 2003 p. 172). (Pinto-Siabato (2004),

MADS *et al.* (2012) responde a las preguntas más frecuentes ¿Qué son las fuentes no convencionales de energía? Son aquellas fuentes energéticas que se encuentran disponibles, pero que en el país no son empleadas o son utilizadas de manera marginal y no se comercializan ampliamente; de ahí que su uso represente una opción interesante para la utilización eficiente de los recursos energéticos del país.

Para Colombia es importante implementar energías alternativas por los impactos ambientales derivados de la producción y consumo de la energía, cuya demanda crece día a día, asociada al crecimiento económico y al bienestar de la población. En este sentido, la creciente demanda de energía representa un alto impacto ambiental debido a que ésta es satisfecha principalmente usando fuentes fósiles, principalmente petróleo, e hídricas a gran escala para generación eléctrica. Las primeras tienen un alto impacto en cuanto a la emisión de gases y material particulado a la atmósfera (tanto con efectos sobre la calidad del aire local como global) en el proceso de combustión y por supuesto los impactos generados por la explotación del combustible fósil utilizado; las segundas, utilizando generación hidroeléctrica de gran escala, calificada en principio como limpia y renovable, tienen efectos negativos sobre el medio físico-biótico y socioeconómico de su área de influencia. (MADS *et al.*, 2012). Es por consiguiente importante para Colombia promover la participación de las fuentes no convencionales de energía, por su menor impacto ambiental, por constituirse en alternativa energética para el desarrollo social y económico de las zonas no interconectadas, por su contribución a la diversificación de la matriz energética, la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles y de la energía hidroeléctrica a gran escala. (MADS *et al.*, 2012).

Los biosistemas integrados

Los biosistemas integrados están siendo observados en muchas partes del mundo desde una perspectiva integradora. Investigadores de variadas disciplinas dan cuenta de los avances en la temática y del impacto que pueden tener los biosistemas como herramienta generadora de desarrollo sostenible, el cual implica así mismo el desarrollo sostenible, ambiental, social y humano.

La problemática relacionada con el ambiente cobra gran importancia, debido a los grandes deterioros que se ciernen sobre nicho de vida donde habitamos. Los biosistemas integrados, como campo del conocimiento no pueden ser ajenos a este gran compromiso de garantizar la supervivencia de la especie humana, de los ecosistemas y, de la vida sobre el planeta.

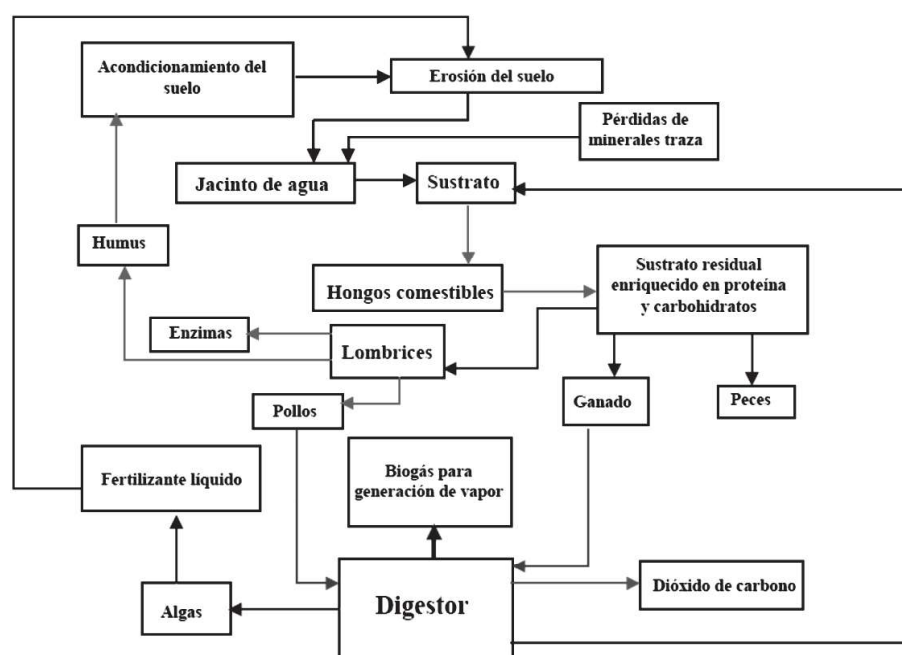


Figura 1. Biosistema integrado para el aprovechamiento del jacinto de agua o buchón, según Serna-Mendoza *et al.* (2010), a partir de Rinker *et al.* (2004).

Etimológicamente “Biosistemas Integrados”, está compuesta por: (1) el prefijo “bio” que significa vida, y (2) el término “sistema” que proviene del griego (syn-histeemi = mantenerse juntos) y significaba algo que se mantiene firme, como un todo compuesto e interconectado.

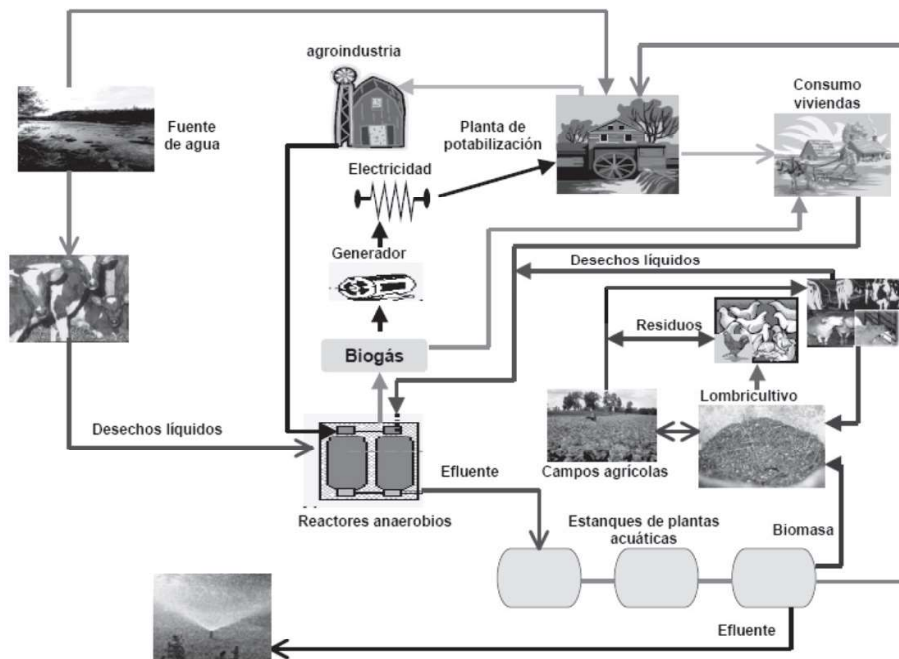


Figura 2. Biosistema integral del manejo integral del agua, según Serna-Mendoza et al. (2010).

Un sistema abierto es el que recibe flujos de su ambiente, cambiando o ajustando su comportamiento o su estado según las entradas que recibe. Los sistemas abiertos, por el hecho de recibir energía, pueden realizar el trabajo de mantener sus propias estructuras e incluso incrementar su contenido de información para mejorar su organización interna. Un sistema cerrado permite el intercambio de energía pero no de masa, a través de los límites del sistema. Por ejemplo, el sistema terrestre es cerrado y cuyo límite, constituido por la parte externa de la atmósfera, no permite el intercambio de masa con el resto del universo (exceptuando un meteorito ocasional). (Serna-Mendoza *et al.*, 2010).

Los biosistemas integrados son aquellos que unen dos ó más sistemas biológicos para transformar los residuos orgánicos en productos de valor agregado, mediante la utilización de procesos que involucran microorganismos, organismos mayores, animales y plantas, en ellos se cumple que los productos de salida de uno de los procesos se convierte en la materia prima para el inicio del siguiente o de los siguientes procesos.

La conversión de residuos domésticos, agrícolas y subproductos agroindustriales en productos de valor agregado proporcionan una única estrategia para crear un ambiente ecológico y saludable, a la vez que generan ingresos y empleo para la comunidad.

Los biosistemas integrados son aplicados en la agricultura, silvicultura, acuicultura, y agroindustria, para la producción de alimentos,

protección del ambiente, tratamiento de residuos sólidos, líquidos y gaseosos y recuperación de suelos, entre otros.

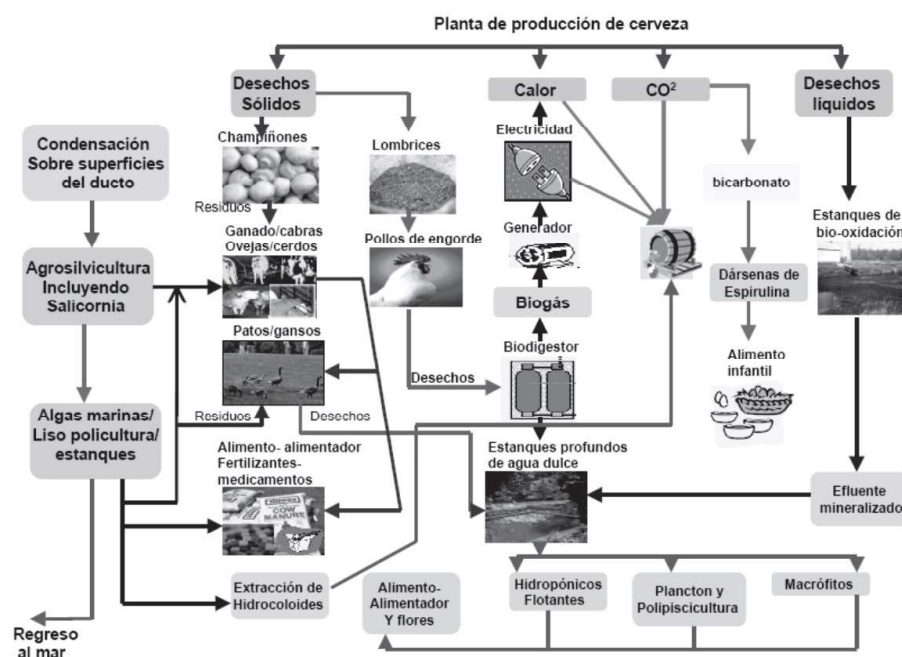


Figura 3. Biosistema "manejo integral de residuos en una Industria de alimentos, según Serna-Mendoza et al. (2010), adaptado de Pauli (1996).

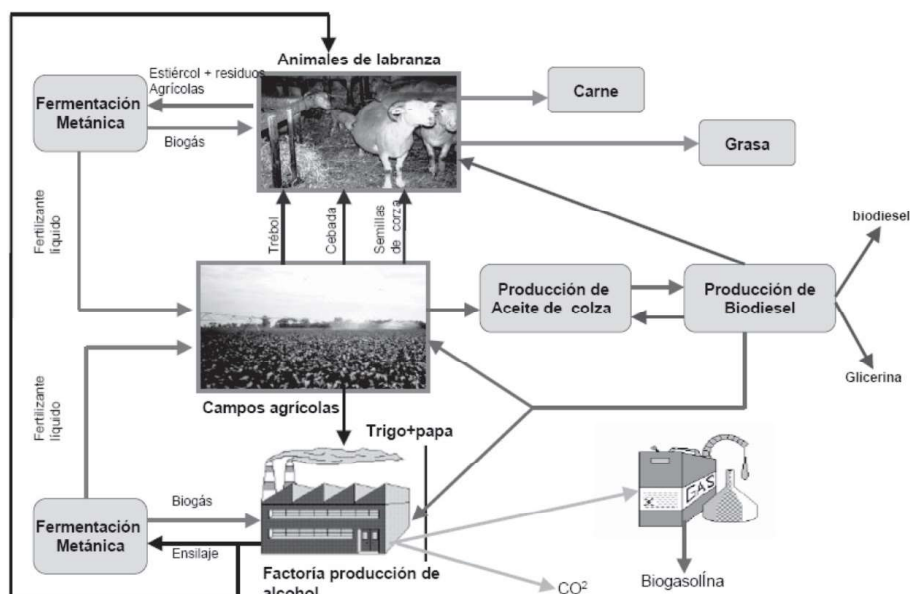


Figura 5. Biosistema integral semicerrado para la producción de biocombustibles, según Serna-Mendoza et al. (2010) a partir de Bakers y Viesturs (1998).

Los biosistemas integrados constituyen un reciente concepto que presenta una alternativa al típico esquema productivo moderno, de utilizar solo una parte muy pequeña de los recursos e insumos en el proceso productivo que se presentan en el campo; por ejemplo: la agroindustria del café, un baluarte económico muy importante desde hace 80 años, de la economía rural colombiana, donde por ejemplo se utiliza en la producción del café solo el 3% de la biomasa disponible del café, convirtiendo el 97% de la biomasa en desperdicios que van a contaminar las microcuencas en las zonas cafeteras.

Las granjas o fincas integrales son un buen ejemplo de las bondades de estos sistemas (Hogares Juveniles Campesinos fueron los pioneros en Colombia), pues ambientalmente se convierten en un modelo del uso racional de los suelos, las aguas, los subproductos, evitando al máximo la contaminación del subsuelo, de las corrientes de agua y del medio ambiente, al generar energía necesaria para la granja e incluso vender los excedentes a la red. En el aspecto económico, se busca brindar al granjero una oportunidad de crecimiento para generar todo lo que necesite dentro su de propia tierra. Alimento para su familia y energía eléctrica para el funcionamiento de los diferentes equipos. Estos proyectos tienden a responder a metas muy concretas: Seguridad alimentaria, salud, producción sostenible, organización comunitaria, manejo integrado de recursos, protección del ambiente y creación de microempresas, entre otros. Es decir, con miles de granjas integrales en Colombia, nos podríamos convertir en el primer productor de energías limpias en Latinoamérica, sin bio-degradar, sin contaminar y siendo totalmente, autosuficientes. (Arboleda, 2009).

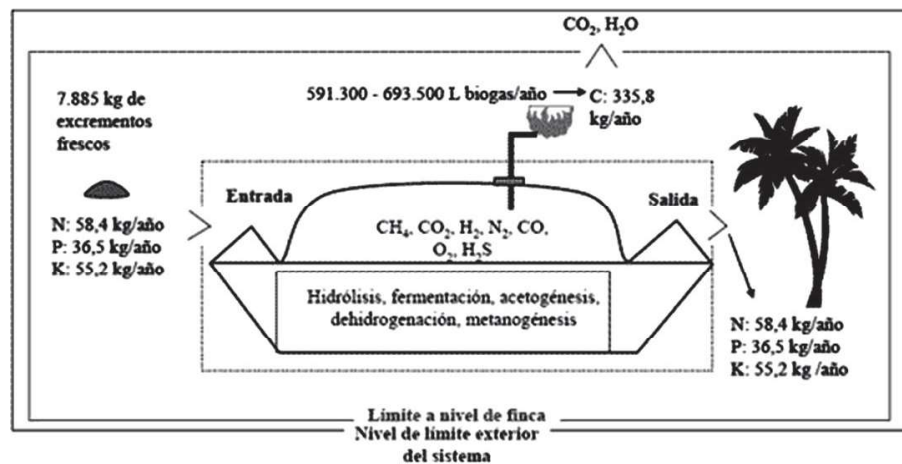


Figura 6. Análisis de ecosistema para un biodigestor de polietileno basado en 7885 kg de excrementos frescos, según Aguilar & Botero (2007) a partir de Hedlund & Xuan-An (2000).

Hoy como alternativa a la pobreza, la contaminación y al desempleo, surgen las cadenas productivas como una importante opción: por ejem-

plo, una porqueriza produce desechos orgánicos y este inicialmente es desechado. Con este nuevo paradigma se reciclan estos desechos orgánicos en bio-digestores, que producen gas metano utilizable para la calefacción, como combustible y para la iluminación.

En el siguiente paso el bio-digestor produce compost, que se utiliza como abono orgánico sin necesidad de utilizar abonos ni insecticidas químicos o como alimento para la piscicultura. Después, los estanques piscícolas alimentan los peces para consumo interno y externo, y por último, en estos estanques se crían unas algas nutritivas llamadas Chlorella, que es un alimento orgánico humano, de gran calidad nutritiva, sustituto de la carne, y con un alto precio en el mercado.

Los residuos orgánicos, entonces, se reutilizan totalmente produciendo como resultado el uso total de la biomasa orgánica en cadenas productivas, desperdicios cero, contaminación cero, mayor empleo y mejores ingresos. Este es un paradigma nuevo para aplicar pedagógicamente, en los entornos educativos rurales. (LEGIS. s.f.)

Otras experiencias exitosas

1. Las pequeñas centrales hidroeléctricas tienen su origen en Colombia en la Costa Caribe, alrededor de los años 1900 con la llegada de las compañías fruteras americanas, al piedemonte de la Sierra Nevada de Santa Marta y el municipio de Fundación, las cuales construyeron estos aprovechamientos con el objeto de abastecer los requerimientos energéticos de sus procesos productivos. Actualmente estas microcentrales son construidas por los mismos habitantes de las localidades, los cuales desarrollan todas las etapas, desde el diseño, construcción, montaje y puesta en marcha de los proyectos, lo cual implica que desde el punto de vista técnico existan falencias en algunos aspectos, en especial en lo que se refiere al tendido de redes, lo cual se hace de manera rudimentaria, poniendo en peligro a las personas que deben transitar por las líneas de transmisión, por quedar estas ubicadas a una altura que genera un riesgo para dichas personas. (María, 1993).

Por el bajo costo y la ventaja comparativa que representa para los usuarios, es importante la aplicación de esta tecnología, pero es importante considerar los factores anteriormente anotados, con el fin de garantizar un servicio integral apropiado para las personas que se sirven de él y que exista una legislación más específica en esta materia tal como se desarrolló en el tema de los acueductos veredales, en donde las Juntas de Agua cuentan con un régimen legal que estipula la forma técnica y demás aspectos en la prestación del servicio. (L. Robledo-Sánchez, com pers.)

La Turbina Pelton o turbina hidráulica es una máquina con la finalidad de transformar energía hidráulica en energía mecánica; esta transformación la realiza a través de un sistema rotativo hidromecánico,

el rotor. Las turbinas hidráulicas se dividen en turbinas de acción y turbinas de reacción. Son de reacción si el trabajo mecánico es obtenido por la transformación de la energía cinética y de presión del agua. Y son de acción si el trabajo mecánico es obtenido por la transformación sólo de la energía cinética del agua. Esta turbina está provista de una o más toberas que dirigen el chorro de agua a las cucharas o canchilones que están dispuestas en un disco central. La regulación de la turbina se realiza por intermedio de una aguja, que al desplazarse en forma axial, y en el interior de la tobera, regula el caudal que fluye y en consecuencia la velocidad de la turbina. (Nuñez, 1993).

Este tipo de tecnología aplicada, se constituye como una alternativa importante, especialmente para poblaciones ubicadas en áreas rurales cuyas condiciones de infraestructura y servicios son limitadas, desde el punto de vista técnico, económico y ambiental. Gómez-Gómez *et al.* (2008), también revisan y explican como la turbina hidráulica Mochell-Banki, tiene gran aceptación en por lo menos 13 Departamentos, donde ha sido comprobada su eficacia y eficiencia en minicentrales hidroeléctricas.

2. La producción de energía de transporte por gradientes de presión, no usa combustible ni electricidad, se produce por la acumulación y flujo dentro de un tubo de aguas residuales y/o limpias de alcantarillas, fábricas, precipitación pluvial, quebradas, ríos. Estos gradientes de presión aplicados a dos cámaras de un tubo de transporte separadas por un émbolo, producen una fuerza resultante que empuja el émbolo de la mayor a la menor presión, arrastrando consigo u carruaje de carga y/o de pasajeros. Las fuerzas de empuje y tracción del émbolo varían proporcionalmente con el área transversal interna del tubo y con el gradiente de presión (Castro-Hinestrosa, s.f.)

Conclusiones

En la reunión sectorial Al Ruedo (Programa emitido por Prisma TV, en el cual se discutió el estado de las energías alternativas en el país) y celebrada en Bogotá D.C., Marzo 10 de 2009, Josué Zapata, profesional de la Unidad de Planeación Minero Energética, UPME, expreso que “Es necesario trabajar en la ampliación del uso de energías en Colombia. Hay muchos actores en el país que trabajan dispersos, cada uno tiene un proyecto pequeño y no hay una propuesta general de energías para dar una mayor cobertura”, que discutió el estado de las energías alternativas en el país.

Por su parte, Farid Chejne, director del Área Curricular de Procesos y Energías de la Universidad Nacional de Colombia en Medellín, comentó que es necesario analizar muy bien el tema de las fuentes alternas de energía o energías renovables y el estado en que se encuentran esas energías en el país. “Estamos preparando una propuesta para determinar cómo y qué hay que hacer para poder tener más alternativas de producción de energía comunes y no tan pegados de las fuentes fósiles”.

Yesid Ojeda, asesor nacional de Investigaciones en Energía y Minería de COLCIENCIAS, explicó que el Estado colombiano ha hecho un gran esfuerzo en materia regulatoria pero que, aunque hay un marco normativo, no existe una regulación clara. “Las energías tienen un papel por cumplir en algunos nichos específicos, se deben desarrollar planes, entender el entorno global y a partir de ello encontrar el mejor espacio”.

En esta sesión de Al Ruedo, los tres invitados coincidieron en que se debe trabajar en ese sentido para poder organizar el sector y adelantar proyectos para aprovechar esas energías en el uso de los sectores residencial, comercial, urbano y rural. Pues aunque existen algunas aproximaciones pequeñas, son del grueso del nivel nacional. Hay que trabajar en potenciales como los de viento y de biomásas, entre otros. El asesor de COLCIENCIAS, concluyó que desde la parte estatal ya se han emprendido proyectos de uso de estas energías con entidades nacionales, pero que aún existen todavía dudas sobre la sostenibilidad de estas soluciones.

Así mismo, tal como opinaba ESMAP (2010):

- Colombia tiene un sector de la energía que está madurando rápidamente, con una relativa estabilidad en su reglamento, un sistema desagregado, y un mecanismo de envío que se asemeja a un buen funcionamiento del mercado competitivo. La competencia es promovida y las herramientas han sido diseñadas para atraer los aspectos costo-efectivos de ampliaciones de capacidad que promuevan la fiabilidad del servicio.
- El sector energético colombiano se caracteriza por la baja intensidad de carbono, por debajo del promedio mundial. En el futuro previsible, la energía hidroeléctrica es probable que siga proporcionando la columna vertebral del sector de la energía. Es hidro-dependiente, sin embargo, el sistema es intrínsecamente vulnerable a las sequías severas. Esta vulnerabilidad podría ser abordada por la diversificación de la mezcla de energía. Recursos de energía eólica podría convertirse en una opción importante de energía en Colombia.
- Colombia cuenta con importantes recursos eólicos, que se estiman superiores a 14 GW, sobre todo en la costa Caribe. Sin embargo, el desarrollo potencial de este recurso está limitado por los altos costos de inversión inicial y las disposiciones en el sistema de regulación que discriminan en contra de esta fuente de energía.
- Los costos de la tecnología eólica se dispararon a un máximo de \$ 2.400 USA / kW en septiembre de 2008. Esta tendencia se ha invertido en 2009, con cifras de los últimos informes los valores promedio de alrededor de \$ 1,800 US / kW, tendencia decreciente que se espera que continúe. A partir de 2009, la European Wind Energy Association (EWEA) informaba que el promedio de los últimos proyectos fluctuaban alrededor de $\square$ 1,225 / kW, es decir, \$ 1.800 US.

- Para el caso colombiano, los resultados indican que durante la estación seca (cuando el agua se convierte en una preocupación y un aumento de precios de la electricidad), los recursos eólicos podrían producir por encima del promedio, al menos en la parte norte de Colombia. Lo más importante para el país, durante el período crítico de El Niño la contribución del viento superior a los eventos de no Niño. Esta contribución debe ser reconocida y remunerada, así como premiado en el actual sistema regulatorio adoptado por Colombia.
- Hay una amplia gama de instrumentos mediante los cuales los gobiernos pueden guiar el funcionamiento de los mercados seleccionados. Todos estos instrumentos podrían ser aplicables al sector de la energía en Colombia. Sin embargo, sólo un subconjunto reducido fue analizado (aquellos que son relativamente fáciles de incorporar en el sistema normativo vigente en Colombia y tiene el efecto de cambiar los resultados financieros de un inversor potencial). Los instrumentos han sido clasificados como: (1) los instrumentos financieros, (2) pagos a los gobiernos, tasas y cargos, y (3) el ajuste en el sistema normativo vigente. Las opciones de política.
- El sistema regulador existente tiene que ser evaluado y los prejuicios contra las tecnologías de energía renovable deben ser eliminados a fin de crear condiciones de competencia equitativas para todas las tecnologías. Además, los cambios en las condiciones financieras y fiscales también podrían hacer que la energía eólica sea competitiva en Colombia.
- Desde la evaluación de la eficacia de los instrumentos, se encontró que el instrumento de política más eficaz para promover la energía eólica en Colombia es la concesión de acceso a los pagos de fiabilidad, reconociendo la energía firme y la complementariedad ofrecida por el viento. La implementación de esta opción política es relativamente fácil de incorporar en el sistema normativo vigente.
- Datos fiables que se necesita para evaluar el potencial específico de la energía eólica en toda Colombia. Sin estos datos, los promotores y los inversores frente a grandes incertidumbres que se traducen en una barrera adicional a las inversiones futuras. Por esta razón, los gobiernos de Colombia y de otros países de la región se les anima a asignar recursos para la asignación correcta de su dotación de recursos eólicos y para hacer esta información disponible al público.
- Aunque el análisis se ha centrado en Colombia, el enfoque es aplicable a otros países, que además podría explorar sus recursos renovables no convencionales. Otros países podrían beneficiarse de la realización de un análisis similar para comprender la posible complementariedad y cómo las tecnologías de energías renovables también pueden desempeñar un papel más importante en la provisión de energía.

Agradecimientos

A todas las personas que pusieron a nuestra disposición sus experiencias y conocimientos, para realizar este trabajo, especialmente a los ingenieros Juan Carlos Garrido-Marulanda y Leonidas Robledo-Sánchez.

Bibliografía

Aguilar, F. X. & R. Botero. 2007. Biogás: Beneficios económicos utilizando un biodigestor de polietileno de bajo costo. Disponible en: <http://www.engormix.com/MA-porcicultura/manejo/articulos/biogas-beneficios-economicos-utilizando-t1795/124-p0.htm>

ANUN. 2009. Trabajo unificado, clave para aprovechar energías alternativas en Colombia. Disponible en:

<http://www.agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/trabajo-unificado-clave-para-aprovechar-energias-alternativas-en-colombia.html>

Arboleda, N. 2009. Establecimiento de un modelo de Granja Integral Autosuficiente, Agroindustrial y Energética. Disponible en:

<http://www.slideshare.net/ElPaisita/establecimiento-de-un-modelo-de-granja-integral-autosuficiente-agroindustrial-y-energetica>

Betancur, L. I. 2009. Energía renovable: marco jurídico en Colombia. Dossier Revista Perspectiva, 21; 69-71. Disponible en: [http://www.icpcolombia.org/perspectiva/archivos/revista/No 21/069-071PERS OK](http://www.icpcolombia.org/perspectiva/archivos/revista/No%2021/069-071PERS%20OK)

Bakers, M. & U. Viesturs. 1998. Integrated bio-system for biofuel production from agricultural raw materials in Latvia. In: Eng-Leong F. & T. Della Senta (eds.). Integrated Bio-Systems in ZERO Emissions Applications. Proceedings of the Internet Conference on Integrated Bio-Systems. Disponible en: <http://www.ias.unu.edu/proceedings/icibs>.

Castro-Hinestrosa, E. s.f. Producción de energía de transporte por gradientes de presión, que favorece el medio ambiente. Superintendencia de Industria y Comercio Radicación 07013190-0000-0000 (Septiembre 2 de 2007) Nuevas Creaciones. Manizales (Caldas), 24 p.

CVN. s.f. Colombia una potencia en energías alternativas. Centro Virtual de Noticias. Noticias de Educación. Ministerio de Educación de la República de Colombia. Disponible en: <http://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/article-117028.html>

EPM. 2007. Parque eólico Jeparachi. Empresas Públicas de Medellín. Disponible en: http://www.eppm.com/epm/Institucional/energia/infra_infra_genera_enoper_parquejepi.html?id=2

ESMAP. 2010. Review of policy framework for increased reliance on renewable energy in Colombia. Options for Market Entry of Wind Power in Colombia's Energy Mix, January 26, 2010. Energy Unit Sustainable Development Department Latin America and Caribbean Region. The World Energy Sector Ma-

nagement Assistance Program. Discussion Draft 2010, 176 p. Disponible en: http://www.esmap.org/esmap/sites/esmap.org/files/P108945_Colombia_Review%20of%20Policy%20Framework%20for%20Increased%20Reliance%20on%20Wind%20Energy_Vergara.pdf

Garrido-Marulanda, J. C. 2012. Energías renovables en Colombia. Cultura Buena Energía. Manizales (Caldas). Informe técnico, 3 p.

Gómez-Gómez, J. I., E. A. Palacio-Higueta & C. A. Paredes Gutiérrez. 2008. La turbina Mochell-Banki y su presencia en Colombia. Rev. Avances en Recursos Hídricos, 17: 33-42.

Hedlund, A. & B., Xuan-An. 2000. A theoretical integrated nutrient flow on a farm with three sub-systems in An Son village in Southern Vietnam. In: Proceedings of the Internet Conference on Material Flow Analysis of Integrated Bio-Systems (March-October, 2000). Foo, E.; Della, T.; Sakamoto, K. (Editors). Integrated Bio-Systems Network. Disponible en: <http://www.ias.unu.edu/proceedings/icibs/ic-mfa/hedlund/index.html>

Higuera, J. M. 2011. Las energías alternativas ganan fuerza en Colombia: La flexibilidad que tiene el país para producir electricidad lo hace más atractivo en el mercado. Portafolio, Abril 26, Redacción de CEET. Disponible en: <http://www.portafolio.co/negocios/las-energias-alternativas-ganan-fuerza-colombia>

Jiménez-Segura, L. F., R. Álvarez-León, F. de P. Gutiérrez-Bonilla, S. Hernández-Barrero, M. Valderrama-Barco & F. A. Villa-Navarro. 2011. La pesca y los recursos pesqueros en los embalses colombianos, Cap. 7.2, pp. 233-281 In: Lasso-Alcalá, C. A., F. de P. Gutiérrez-Bonilla, M.A. Morales-Betancourt, E. Agudelo-Córdoba, H. Ramírez-Gil y R. E. Ajiaco-Martínez (eds.) II. Pesquerías Continentales de Colombia: Cuencas del Magdalena-Cauca, Sinú, Canalete, Atrato, Orinoco, Amazonas y Vertiente del Pacífico. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia, 304 p.

LEGIS. s.f. Construdata.com. Disponible en: http://www.construdata.com/BancoConocimiento/C/componente_arquitectonico/componente_arquitectonico.asp

López, C. A. 2008. Sostenibilidad ambiental y energías limpias. Pereira (Risaralda) Colombia, Mayo 29 de 2008. Disponible en: http://www.carder.gov.co/documentos/2300_Carlos_Arturo_Lopez.pdf

MADS / IDEAM / IIRBAvH / INVEMAR / SINCHI / IIAP. 2012. Energías alternativas: Un potencial para aprovechar. Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) Disponible en: <http://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=713&conID=714>

Núñez, A. 1993. Turbinas Pelton y Michel Banki construidas en Colombia. V Encuentro Latinoamericano y del Caribe de Pequeños Aprovechamientos Hidro-energéticos. Santa Marta (Mag.) Colombia, 143-151.

Pauli, G. 1996. Avances. Lo que los negocios pueden ofrecerle a la sociedad. Universidad EAFIT. Medellín (Ant.) Colombia, 271 p.

Pinto-Siabato, F. 2004. Energías renovables y desarrollo sostenible en zonas rurales de Colombia. El caso de la vereda Carrizal en Sutamarchán. Cuadernos de Desarrollo Rural (53): 103-132. Disponible en: <http://www.upme.gov.co/energia/e-elect/pen.htm>

Portafolio. 2008. Producción de crudo, la mayor en seis años. Disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-2902817>

Polo, J. M., G. A. Zarruk y A. Sarmiento. 2006. Existing technologies for the generation of wave and tidal energy". International Seminar of Environment and Sustainable Development. Bucaramanga (Santander) Colombia.

Polo, J. M., J. Rodríguez & A. Sarmiento. s.f. Potencial de generación de energía a lo largo de la costa colombiana mediante el uso de corrientes inducidas por mareas. Disponible en: <http://revistaing.uniandes.edu.co/pdf/a11%2028.pdf>

Rinker, D., ZERI & S. W. Kang. 2004. Recycling of spent oyster mushroom substrate. In: Mushroom growers' Handbook 1. Part II Oyster mushroom cultivation. Chapter 9 Post-harvest management. MushWorld- Heineart Inc., Seol (Korea). 2004. 248 p.

Robledo-Sánchez, L. 2012. Aplicación de tecnologías ambientalmente limpias en la implementación de microcentrales hidroeléctricas. Manizales (Caldas). Informe técnico, 3 p.

Serna-Mendoza, C. A., M. Salazar de Cardona, N. Rodríguez-Valencia & R. Álvarez-León. 2010. Biosistemas integrados y sus interrelaciones con el desarrollo sostenible y el desarrollo humano y social. Univ. de Manizales - Centro de Investigaciones en Medio Ambiente y Desarrollo (CIMAD) - Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente / Corporación Autónoma Regional de Caldas (CORPOCALDAS). Manizales (Caldas) Colombia, 109 p.

SNE - PRC. 2007. 191 millones de barriles de petróleo han ingresado a las reservas de crudo. SNE- Presidencia de la República de Colombia Disponible en: http://www.presidencia.gov.co/prensa_new/sne/2005/abril/12/01122005.htm

UPME. s.f. Energías Renovables: Descripción, Tecnologías y Usos Finales. Unidad de Planeación Minero Energética. Sistema de Información de Eficiencia Energética y Energías Alternativas. República de Colombia. Ministerio de Minas y Energía. Bogotá D.C. Colombia, 47 p. Disponible en: <http://www.si3ea.gov.co/Default.aspx?tabid=82>

UPME. 2006. Informe de Gestión-2006. Unidad de Planeación Minero Energética. República de Colombia. Ministerio de Minas y Energía. Bogotá D. C. Colombia.

Disponible en: http://www.upme.gov.co/Docs/Informes_Gestion/GESTION_2006_UPME.pdf

UPME. 2011. Boletín Estadístico de Minas y Energía 1990-2010. Unidad de Planeación Minero Energética. República de Colombia. Ministerio de Minas y Energía. Bogotá D. C. 247 p. Colombia. Disponible en: <http://www1.upme.gov.co/images/stories/boletin.pdf>

WIKIPEDIA. 2012. Energías Renovables en Colombia. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADas_renovables_en_Colombia