

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
Licenciatura en Estudios Latinoamericanos.

HYDROBIUM ETLI EN CUATZOQUITENGO: UN PROYECTO VIABLE PARA RESOLVER PROBLEMAS

ENERGÉTICOS EN ZONAS RURALES DE MÉXICO

Nataly Álvarez Sánchez.
Guadalupe Araceli Ávila Morales.
Omar Salvador Carrillo Ricci.
Lisbeth Misti Castillo Pineda.
Paloma Ximena Velázquez Ríos.
Mario Antonio Villanueva Velasco

UNAM-Genomics-Mexico
Human Practices
Tutor: Juan Humberto Urquiza García
28 de septiembre de 2011

HYDROBIUM ETLI EN CUATZOQUITENGO: UN PROYECTO VIABLE PARA RESOLVER PROBLEMAS
ENERGÉTICOS EN ZONAS RURALES DE MÉXICO

INTRODUCCIÓN

México se consolidó, desde las primeras décadas del siglo XX, como un importante productor de petróleo a nivel mundial. Tal recurso natural ha marcado su devenir histórico condicionando la economía, gran parte del debate político y la construcción misma de los diferentes modelos de desarrollo. México es hoy un país petrolizado, las grandes redes que se tejen en su interior responden a dicha dinámica; la balanza comercial, el gasto público, la inversión educativa, el complejo sistema de subsidios, el capital social, la política exterior y hasta los patrones de sociabilidad. Y aunque la última transición en el modelo de desarrollo – en la que se dio pie a la liberalización económica – ha traído consigo otros temas prioritarios de la agenda política e institucional, es irrevocable la permanencia del petróleo como articulador de la vida política, económica y social.

A pesar de que los adelantos científicos y tecnológicos del mundo desarrollado han propiciado un severo cuestionamiento al funcionamiento del orden internacional en materia energética, se ha logrado modificar poco. Principalmente porque la explotación de los recursos naturales no renovables ha producido, junto con otras variables, efectos negativos en el medio ambiente y la forma en la que el sistema tierra funciona. Hoy sabemos que el cambio climático y la degradación y pauperización del medio natural es una realidad palpable. Sin embargo, la demanda de combustibles fósiles no cesa. La relativa facilidad de extracción, la gran disponibilidad y los bajos costos, comparados con otras fuentes energéticas, son variables altamente valoradas por la economía mundial.

La ciencia por su parte, a través de sus múltiples disciplinas, ha participado en la generación de nuevas y mejores tecnologías para con el medio ambiente en dos sentidos: contrarrestar los efectos negativos de la degradación medioambiental que ya existe y posibilitar la emergencia de nuevas vías para el funcionamiento energético sustentable. Además de que estos proyectos están concentrados en algunos países del planeta, la clase política ha provocado que los resultados de los mismos sean menores en comparación con el vigoroso incremento de la demanda en los mercados de combustibles.

A pesar de ello, existen esfuerzos científicos significativos en países como México para combatir los efectos del cambio climático. Ejemplo de uno de esos intentos por encontrar alternativas reales para la generación limpia y *eco-amigable* de energía es el proyecto de investigación *Hydrobium Etli* del grupo UNAM-Genomics que consiste en la generación de energía eléctrica a partir de la inserción de una bacteria modificada al metabolismo de la planta del frijol, para aumentar la producción de hidrógeno gaseoso. Los estudiantes detrás de dicha investigación encuentran en México graves conflictos en relación con el consumo y la dependencia energética. No sólo en cuestiones medioambientales. La sociedad resiente los embates del panorama energético mexicano.

De acuerdo con un estudio realizado por el Banco Mundial¹ (World Bank; 2006), la pobreza extrema es principalmente, aunque no de manera exclusiva, un fenómeno rural. Y aunque en las últimas dos décadas se ha avanzado significativamente – sobre todo en comparación con la década de 1980 – en el área de salud, educación e infraestructura social, el ingreso y el acceso a los servicios suponen los dos conflictos más profundos de las comunidades rurales mexicanas. Ello no implica la inexistencia de pobreza urbana o el pleno acceso a los servicios en las ciudades; el problema rural se incrementa cuando el acceso a servicios es en extremo limitado y el ingreso carece de formas de reproducción e integración regional.

La innovación científico-tecnológica de proyectos como el aquí analizado suponen el mejoramiento focalizado del acceso al servicio de energía eléctrica que ayudaría a incrementar significativamente la calidad de vida de sus habitantes. La aplicación de esta nueva tecnología limpia y *eco-amigable* es en esencia mejorar las redes de desenvolvimiento social en zonas rurales de México.

PANORAMA ACTUAL EN MATERIA ENERGÉTICA

Como afirman los especialistas, México entra al siglo XXI sin una política conjunta central en materia energética. El petróleo, el gas natural, y en general las fuentes de energía, son variables que determinan el crecimiento macroeconómico de cualquier país y por ende merecen ser tratados como temas prioritarios e independientes de la administración federal. En México estos siguen funcionando, inexorablemente desde 1979, como recursos fiscales para el gasto público del gobierno en turno. Los hidrocarburos, en un país exportador, deben estar protegidos por legislaciones que

obliguen la eficiencia en la actividad, la protejan del malgasto público, le brinden incentivos fiscales para la dinamización económica y provoquen la generación de cadenas productivas industrializadoras.

PEMEXⁱⁱ fue una entidad empresarial mexicana pionera en llevar a cabo un plan de generación de tecnología propia para la exploración y extracción, además de incentivar la industrialización en procesos con relación a la refinación, infraestructura y petroquímica. La actividad de la paraestatal impactó en otros rubros económicos (comunicaciones, transporte, industria pesada, fertilizantes, agricultura), en una suerte de adición de valor industrial a una actividad del sector primario, impulsó el empleo y el crecimiento económico al atraer inversiones privadas y públicas. Sin embargo, al descubrir el campo de Cantarell en 1979, uno de los más grandes de la historia, el Estado mexicano sufría una fuerte crisis fiscal, sólo a tres años de declararse incapaz de afrontar la deuda. Los ingresos de las exportaciones y la recaudación fiscal simplemente sirvieron para que el barco mexicano tardara más en hundirse, la paraestatal quedó sin recursos.

De acuerdo con Gil Valdivia (Valdivia; 2008) México cuenta hoy con 12.9 miles de millones de barriles, 1.1% de la existencia mundial. Cuenta con la tercera reserva más importante de Norteamérica – ésta representa 5% de la reservas mundiales – y la segunda más significativa de América Latina – que cuenta con un 8.6% de las reservas del mundo. Nuestro país sólo suministra 1.5 de los 21 millones de barriles de petróleo que requieren los EEUU al día. Las reservas probadas de hidrocarburos decayeron un 47% en 2000-2006ⁱⁱⁱ. La propicia coyuntura internacional en tal período – alza en el precio del petróleo, crecimiento de los EEUU, aumento de los fondos de PIDIREGAS^{iv} y aumento de las remesas (Marcos; 2008) – provocó la sobreexplotación de las reservas petroleras. El objetivo era aumentar los ingresos fiscales, por medio de un régimen tributario excesivo, al tiempo de mantener una balanza comercial menos deficitaria guiada por el incremento en las exportaciones.

“México enfrenta un gran reto debido a que el petróleo en el futuro tendrá que venir de yacimientos cuya complejidad supera, por mucho, la que se ha presentado hasta ahora. Para enfrentarlo con éxito, se requerirá de un gran esfuerzo orientado a incrementar la capacidad de ejecución y de inversión, adoptar las mejores prácticas en la administración del riesgo que implican las inversiones y utilizar la tecnología más adecuada para la explotación de los nuevos yacimientos”.^v

En materia interna, y a pesar de la caída drástica en la extracción de hidrocarburos, en el año 2009 la participación de los combustibles fósiles en el consumo energético nacional fue de un robusto 89%.^{vi} Por su parte, los combustibles renovables y residuos que constituyen la biomasa sólida, la biomasa líquida, el biogás y los residuos industriales participaron con un escueto 4.8 % del total para el mismo período.^{vii} La energía limpia, energía no proveniente de hidrocarburos cuya generación no produce dióxido de carbono y que engloba la energía hidroeléctrica, la nuclear, la geotérmica y la solar, entre otras, sólo conformó un 6.2% del consumo.

Actualmente el servicio eléctrico nacional es un servicio prestado por una empresa estatal llamada CFE.^{viii} Tal entidad debe entonces abastecer, gestionar, cogestionar y exportar electricidad a todo el territorio nacional. Según Valdivia (Valdivia; 2008) la capacidad instalada nacional es de 53, 853 MW, de la cual 27.8% corresponde a la generación por termoeléctrica convencional; 22.6%, hidroeléctrica; 17.7%, ciclo combinado PI; 10.8%, ciclo combinado CFE; 5.6%, carboeléctrica; 5.6%, turbogas; 4.5%, dual; 2.1%, geotérmica y eoloeléctrica; 2.9%, nuclear; 0.4%, dual y combustión interna.

Aunque el sistema eléctrico intenta diversificarse, con el firme objetivo de lograr un programa de seguridad energética, quedan pendientes dos retos nacionales, como lo señala Elías Ayub (Valdivia; 2008): a) la inversión de fuertes capitales en el sistema eléctrico, al menos 5 mil millones de dólares anuales; y b) la inversión en proyectos de investigación en relación con hidrocarburos y electricidad, apoyando y fomentando la creación de nuevas tecnologías para incorporar productivamente nuevas formas de energías limpia y renovable.

México participa en la generación del 3% de las emisiones de GEI en el mundo, siendo el miembro latinoamericano con mayor participación en tal rubro (Cárdenas; 2008). Dentro de las GEI generadas por México en 2007, el dióxido de carbono ocupó el primer lugar, con una cifra de 4.5 toneladas métricas per cápita, debido principalmente al consumo de combustibles fósiles. Por ende, el apoyo a otras formas de generación de energía debe ser prioritario.

Más allá de las justificaciones morales sobre la energía renovable, el actual escenario energético mexicano – y en cierta medida, el mundial también – carece de viabilidad real en el marco del decrecimiento de la producción de hidrocarburos y la falta de inversión en el sistema eléctrico. En términos pragmáticos, resulta fundamental la apuesta por incorporar nuevas tecnologías productivas al esquema de

generación de energía con miras a lograr sustentar el modelo de desarrollo nacional; sin una visión de Estado a largo plazo, integral, multisectorial e interdisciplinaria no es posible pensar en seguridad energética; sin ella no hay crecimiento económico estable.

“En este sentido, se deben aprovechar las oportunidades que ofrece la sustentabilidad en materia de ingreso, empleo, bienestar social y mejoramiento de las condiciones de vida en zonas marginadas. Las tecnologías de eficiencia energética y de aprovechamiento de las fuentes renovables de energía, además de ser alternativas para llevar el servicio a zonas marginadas y de difícil acceso, son motores del desarrollo regional, con la creación de pequeñas empresas y empleos al interior de las comunidades. Además, los usuarios de las tecnologías de eficiencia y de aprovechamiento de las fuentes renovables resultan beneficiados mediante ahorros en los gastos que realizan por el pago de insumos energéticos.”^x

PRODUCCIÓN ALTERNATIVA DE ENERGÍA: *HYDROBIUM ETLI*

Con el objetivo de explicar el presente análisis, es necesario describir propiamente el trabajo de investigación científica que lo soporta. Antes que nada delimitemos nuestros conceptos. La *simbiosis* es una relación estrecha y continua entre organismos de distintas especies, en la que ambas partes obtienen beneficios de su interacción. Uno de los pocos procesos biológicos conocidos para la fijación de nitrógeno atmosférico es aquel llevado a cabo a través de la simbiosis.

La simbiosis en el proceso de fijación del nitrógeno se da, por una parte, en que el nitrógeno es un elemento clave para la vida; jugando un papel muy importante en el enriquecimiento de los suelos y beneficiando directamente a vastas especies vegetales. Por otra parte, encontramos que son escasos los organismos que pueden llevar a cabo dicha fijación, ya que necesitan condiciones muy particulares –como ambientes anaerobios- proporcionados por una planta hospedadora, en nódulos^x o nichos especializados localizados en las raíces. Tal es el caso de las especies *Rhizobiales* como *Rhizobium etli*.

Así, la bacteria *Rhizobium etli* en su interacción con la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris*) fija nitrógeno. La simbiosis entre estos dos organismos permite que en el intercambio por fuentes de carbono la bacteria produzca y done compuestos

nitrosos a su planta hospedadora, actuando así como fertilizante orgánico. Este proceso puede ser utilizado en la práctica de rotación de cultivos, como una opción *eco-amigable* y verde, que además de evitar el uso de fertilizantes artificiales, tiene la ventaja de brindar compuestos en cantidades más cercanas a las requeridas por la planta, evitando así la sobre-fertilización.

En este mismo estado simbiótico -en la que la bacteria recibe energía química de la planta-, *Rhizobium etli* se encuentra en un ambiente celular propicio para la producción enzimática de hidrógeno, aunque naturalmente la eficiencia es mínima. El eje central de la propuesta será aumentar la producción de hidrógeno gaseoso para utilizarlo como transportador de energía. Si la producción de hidrógeno se logra incrementar, *Rhizobium etli* podrá tener la capacidad de biorremediación^{xi} por la nitrificación de los suelos, aunado a la producción de un combustible libre de hidrocarburos.

El objetivo principal del proyecto es generar un *Rhizobium etli* transgénico. Ello se logra introduciendo elementos de dos bacterias y una alga para intensificar la producción de hidrógeno sustentable, mientras se preserva la capacidad de fijación del nitrógeno y sus capacidades simbióticas. Es así que se permite el desarrollo normal de la planta, es decir, combinar ambos procesos en un sistema *eco-amigable*, que permita la biorremediación y contribuya a la generación de energía limpia.

El equipo optimizó dos construcciones^{xii} para eficientizar la producción de las proteínas directamente involucradas en la producción de hidrógeno. También se harán comparaciones entre el sistema sintético y el silvestre, tomando en cuenta tres parámetros: a) la capacidad de nodulación de la planta; b) la optimización de las construcciones; y c) la capacidad de fijación de nitrógeno de la bacteria. Se tendrá como objetivo la mayor fijación de nitrógeno y la mayor producción de hidrógeno posibles.

De este modo, la investigación utilizará – por ejemplo – una cepa mutante de *Phaseolus Vulgaris* que genera nódulos gigantes, para explorar el impacto de la biomasa nodular en la producción de hidrógeno. Así mismo, buscarán determinar el coste metabólico de la fijación de nitrógeno al incrementar la producción de hidrógeno. Para éste último ejemplo se pretende utilizar una bacteria incapaz de fijar nitrógeno, evaluar de manera particular el grado de interacción entre la producción de hidrógeno y la fijación de nitrógeno, entre otras comparaciones posibles. Dichas comparaciones son sumamente importantes, pues definirán la sustentabilidad del

proyecto. Si la fijación de nitrógeno y la generación de hidrógeno son lo suficientemente productivas, las proyecciones sociales de la investigación se vuelven sumamente alentadoras.

De alcanzar los objetivos específicos de este proyecto, la planta de frijol se vuelve, además de una fuente de alimentación, una fuente eficiente para la nutrición de los suelos y una fuente generadora de energía eléctrica, dándole solidez a dos ejes clave para el desarrollo sustentable de las comunidades.

VIABILIDAD DEL PROYECTO CIENTÍFICO-TECNOLÓGICO

Una cuestión central aqueja a la gran mayoría de los proyectos científico-tecnológicos innovadores en materia energética de países con estructuras similares a México: ¿Un Estado que ostenta el monopolio de la extracción, generación, producción y comercialización de energéticos es capaz de proveer un marco jurídico amigable a proyectos de generación alternativa de energía como el *Hydrobium Etlí*?

EL ESPECTRO POLÍTICO-JURÍDICO

Las cuestiones energéticas en México están hoy delimitadas por dos recursos de orden político-jurídico. Por un lado el derecho internacional con el acuerdo sobre cambio climático: *El Protocolo de Kyoto*. Y, por el otro, el plan programático sexenal que el gobierno en turno, en este caso el PAN, propone para la administración: el *Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012*.

El Protocolo de Kyoto^{xiii} es un acuerdo internacional que tiene como objetivo principal la reducción de seis tipos específicos de Gases de Efecto Invernadero^{xiv} en los principales países industrializados del mundo. Dicho acuerdo vincula, en un primer momento, a países desarrollados. Sin embargo, las presiones de algunos gobiernos y la iniciativa de países en vías de desarrollo han impulsado negociaciones para que éstos se introduzcan plenamente, ya que también contribuyen de manera significativa a la emisión de GEI.

Después de que los países subdesarrollados ratificaran el Protocolo y se insertaran en el esquema global, en el año 2005, la negociación se complicó. La COP decidió no imponer cargas restrictivas de porcentajes de reducción a países emergentes o en vías de desarrollo, aludiendo a la responsabilidad histórica de los países industrializados en el fenómeno del cambio climático. Los países no

desarrollados se comprometieron con reformas sustanciales de sus modelos de desarrollo que impidiera el aumento de emisiones de GEI y con los mecanismos flexibles que establece el tratado. Sin embargo, la no vinculación jurídica y la falta de objetivos individuales para países emergentes y en vías de desarrollo que se adhieren al Protocolo elimina toda obligatoriedad en el marco jurídico del derecho internacional e incentiva el no cumplimiento concreto de las metas de Kyoto.

Por su parte, el presidente Vicente Fox (2000-2006), que vio entrar en vigor el Protocolo en México en el año 2005, afirmó que existe la necesidad de modificar el modelo de desarrollo económico para hacerlo amigable con el ambiente y evitar la emisión de gases invernaderos. La siguiente administración (2006-2012), también del oficialista PAN, impulsó en su plan programático sexenal una lista de acciones para mitigar los efectos negativos del modelo de desarrollo imperante al medio ambiente, basado principalmente en el comercio exterior. Desgraciadamente, las acciones que el oficialismo está asumiendo en este ámbito no parecen tener resultados positivos, lo que nos hace reconocer que el compromiso mexicano con Kyoto es parte de una política exterior de discursos y condescendencias.

La contradicción se presenta cuando el gobierno en turno no propone medidas concretas – más allá de sugeridas líneas orientadoras – que cumplan sus compromisos internacionales. Uno de los ejemplos más importantes es el PND 2007-2012, plan gubernamental que pretende impulsar el desarrollo económico de la población, en concordancia con el cuidado del medio ambiente y la conservación del capital natural de México.

Para tales objetivos será necesario, según el Plan, la participación activa de todos los sectores de la población, cambiar los patrones de producción y consumo para el mejor aprovechamiento de los recursos, impulsar la instrumentación de tecnologías más limpias y amigables con el medio ambiente, estimular y favorecer la implementación de leyes y políticas ambientales con acciones compartidas entre las diferentes dependencias. Y, sobre todo, estimular la generación de investigaciones científicas dará como resultado la materialización de una eficiencia en el desarrollo económico sustentable y una mejoría evidente, en términos positivos del Plan, de la calidad de vida de la población mexicana.

El Artículo 27 constitucional determina que corresponde exclusivamente al Estado la generación, conducción, transformación, distribución y abastecimiento de energía eléctrica que tenga por objeto el servicio público. Tal artículo le da vida a *la*

Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica de 1975, la cual a la vez le brinda figura jurídica a la CFE. En esta ley, que determina la forma en la que se brindará el servicio de electricidad en el país, se establece también, a partir de las reformas de 1986 y 1992, la posibilidad de participar en la generación de electricidad por autoabastecimiento, cogeneración y pequeña producción. Nuestro proyecto se inserta en la modalidad de *autoabastecimiento* de pequeñas comunidades aisladas o rurales que se constituyan como cooperativas, copropiedades, asociaciones o sociedades civiles.^{xv}

En materia de sustentabilidad, el PND 2007-2012 está blindado por el Artículo 36-Bis de la Ley SPEE que determina como obligación de la CFE el aprovechamiento a corto y largo plazo de la energía de menor costo posible, tomando en cuenta sólo la estabilidad, calidad y seguridad del servicio público. Ello imposibilita la apuesta nacional por vías limpias y *eco-amigables* y la supedita a la fluctuación en los mercados. Con todo esto se entiende que aunque la CFE contemple la posibilidad de que proyectos como el *Hydrobium Etli* se inserten en la generación de energía eléctrica para el beneficio de comunidades rurales, no se apueste por energías renovables para su aplicación a gran escala.

El *Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables*, emanado de la SENER, caracteriza las energías renovables como aquellas que “se basan en ciclos y flujos implícitos en la naturaleza [...] aquellos que se regeneran y se espera perduren por cientos o millones de años...”

La diversificación de fuentes energéticas en el consumo energético nacional por energías renovables es un mecanismo para reducir la dependencia de México a los combustibles fósiles, al tiempo que se disminuyen proporcionalmente las emisiones de efecto invernadero. Teniendo como consecuencia no sólo la conservación de los recursos y el medio ambiente, si no una importante contribución económica para la creación de empresas y empleos.

A pesar de que las energías renovables juegan un papel crítico para el desarrollo social sustentable, los combustibles fósiles siguen siendo la fuente primaria de energía en México y un eje determinante de su economía. Esto lo podemos observar en la capacidad total instalada de generación eléctrica en el servicio público del país donde el 75.3% lo representan los combustibles fósiles, y sólo el 3.3% son representadas por las fuentes renovables.^{xvi}

Es necesario situar la energía obtenida por la simbiosis entre la planta del frijol

común y la bacteria *Rhizobium Etli* dentro de un tipo de energía renovable enunciada en este marco establecido; consideramos que nuestro proyecto encaja en la categoría de fuente de energía derivada de la biomasa. La energía de la biomasa es aquella que se obtiene de productos y residuos animales y vegetales. Tal energía se puede aprovechar de dos maneras: quemándola para producir calor o transformándola en combustible. Cabe aclarar que en este caso la transformación surge por procesos biológicos, causados por la acción de los microorganismos.

El *Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables* es una guía de líneas de acción específica y retos para el gobierno federal, y tiene como misión la incorporación de energías renovables a la matriz energética nacional, y la visión de lograr una verdadera transición energética. La Ley para el *Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética* – vigente desde el 28 de noviembre de 2008 – de la cual deriva este programa, regula el aprovechamiento de fuentes de energía renovables y tecnologías limpias para generar electricidad con fines distintos a la prestación del servicio público de energía eléctrica. Con lo establecido anteriormente, la electrificación por energías renovables no sólo se vuelve viable jurídicamente, si no que se concibe como un motor de desarrollo social, pues brinda alternativas de servicio eléctrico a comunidades apartadas de la red eléctrica.

Sobre la ley del *Aprovechamiento de las Energías Renovables*, es la Comisión Reguladora de Energía la encargada de gestionar y expedir las normas directivas, metodologías y disposiciones de carácter administrativo con base en la política energética establecida por la SENER. El objetivo es regular el aprovechamiento de fuentes de energías renovables y de energías limpias para generar electricidad con fines distintos a la prestación del servicio público de la energía eléctrica así como establecer los instrumentos para el financiamiento de la transición energética.

Los fines del programa son claros: promover el desarrollo industrial en este campo, acelerar la participación social, aumentar la capacidad del sistema eléctrico nacional, definir proyectos para comunidades rurales marginadas y difundir el uso y aplicación de tecnologías limpias en todas las actividades productivas así como en el consumo doméstico.

Una vez entendido que nuestro proyecto es regulado por la ley para el *Aprovechamiento de las Energías Renovables* en tanto que es energía renovable del tipo *biomasa*, la siguiente ley establecerá los límites en cuanto innovación de la

biología sintética. La *Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados* tiene como objetivo garantizar las medidas de seguridad ante un OGM en relación a la liberación de éste, ya sea como liberación experimental, programa piloto o proyecto comercial. *A grosso modo*, la ley nombra las autoridades competentes y la manera en que deben actuar. En lo que a nosotros respecta, un proyecto de liberación experimental debe ser presentado ante la CIBIOGEM.

La institución se encargará de evaluar el proyecto haciendo uso del CONACyT para generar pruebas y reflexiones necesarias; en todos los casos es obligatorio que también se realice una evaluación por parte de la SEMARNAT. Si esta institución considera que el proyecto está en relación con las actividades económicas primarias o interfiere en la vida rural, también deberá ser autorizado por la SAGARPA. Finalmente, para obtener la autorización de liberación expedida por el CIBIOGEM el proyecto debe ser aprobado en calidad de seguro por la SSA y la SHCP. Luego de la fase experimental, el proyecto puede realizar pruebas similares para obtener una autorización como programa piloto y finalmente se debe someter al mismo proceso para ser autorizado como un proyecto comercial.

EXPERIENCIA DE CASO: CUATZOQUITENGO, GUERRERO

Cuatzoquitengo es un pequeño poblado de Malinaltepec, entidad jurisdiccional del Estado mexicano de Guerrero – en la región sur del país – y parte de la región mixteca de la sierra guerrerense. El poblado posee una población de 1,618 habitantes.^{xvii} La lengua local es el mixteco^{xviii} y cuenta con pocos hablantes del español. En esta comunidad se llevó a cabo un trabajo de campo dirigido a conocer la opinión de la gente sobre la posibilidad de incorporar un proyecto capaz de facilitar el suministro de un servicio público fundamental como la energía eléctrica. Llevar electricidad convencional a estas zonas resulta un reto.

Cuatzoquitengo se dirige como comunidad, es decir, las tierras son consideradas *comunales* y todos los asuntos sobre ellas son de interés público: se nombra anualmente un Comisario mediante los sistemas tradicionales; para tomar decisiones el Comisario debe reunirse con el resto de las autoridades comunales, estos últimos se integran por hombres de la tercera edad que poseen grandes cantidad de tierras; las mujeres, por tradición, no se inmiscuyen en asuntos políticos a menos que sea requerido por la asamblea, éstas se dedican a la maternidad, el hogar y las labores

del campo.

La comunidad tiene como actividad principal la siembra de autoconsumo y una gran parte de los recursos proviene de las remesas de jóvenes que salen en busca de empleo, sea por migración nacional o internacional. Es la iniciativa de estos jóvenes la que ha permitido que en los últimos años se presente un cambio acelerado en la calidad de vida de la comunidad. Como gran parte de las comunidades indígenas en México, Cuatzoquitengo encuentra problemas por la tenencia de la tierra con las comunidades colindantes. Dicha problemáticas provoca que el servicio eléctrico sea suspendido por averío intencional de los generadores.

Tomando en cuenta que la apuesta futura del proyecto *Hydrobium Etli* es cubrir el desabasto de consumo energético en comunidades rurales, sea éste por conflictos sociales o por el hecho de ser regiones marginadas, *Hydrobium Etli* funge como una alternativa real para comunidades con dinámicas sociales similares a las de Cuatzoquitengo. Se tendría entonces que al establecer un plan de implementación de la nueva tecnología en la comunidad, se lograría impulsar actividades económicas locales, integrando la región en turno, mejorar significativamente la calidad de vida y promover el desarrollo rural de zonas marginadas en México.

Cuatzoquitengo cumple así con los requisitos de implementación que el proyecto propone:

- Desabasto eléctrico por parte de la empresa estatal encargada.
- Experiencia formal en el cultivo del frijol. Lo que no trastocaría de fondo la tradición cultural de la comunidad.
- Comunidad ávida con una buena actitud receptora hacia las nuevas tecnologías.
- Tierra que no ha sido fertilizada en los últimos 15 años y la cual sería profundamente beneficiada por un cultivo de frijol nitrificante.
- Un suelo pobre o medianamente pobre en nitrógeno. ^{xix}
- La característica que marca la ley sobre la cogeneración de energía eléctrica en figuras jurídicas de comunidad tradicional o cooperativa.

De igual forma es un lugar propicio para registrar fuertes beneficios:

- La posibilidad de los miembros de continuar con sus actividades agrícolas, ahora con un servicio energético satisfactorio.
- Incremento de la calidad de vida de los habitantes de la comunidad.
- La posibilidad de integrar la comunidad a esquemas económicos regionales.
- Reforzar la conciencia sobre el medio ambiente.
- Mejorar significativamente la imagen de la ciencia, y en específico de la biología sintética en la región.
- Tener pleno contacto con nuevas tecnologías productivas en relación con la energía limpia y *eco-amigable*.

LA PRÁCTICA DE DIFUSIÓN

Para realizar la difusión, nuestro primer contacto fue con el Comité principal de Asamblea, quienes nos ayudaron a contactar con los profesores que consideraron más calificados para ayudarnos a transmitir nuestra propuesta, incluidas las ventajas y desventajas de la biología sintética representada por el proyecto *Hydrobium Etlí*.

Luego de escuchar las propuestas de los profesores, se convocó a una asamblea donde nos dieron la oportunidad de dirigirnos a las autoridades comunales para platicarles sobre el proyecto y escuchar sus opiniones. Por un lado, la presentación se llevó a cabo mediante ilustraciones del esquema de la planta de frijol, y por otra, la implementación del proyecto.

Las participaciones fueron muy claras, “mientras sea para algún beneficio aceptamos los proyectos”, comentó un miembro de la asamblea. La aceptación de una posible aplicación del proyecto en el futuro fue total. Sin embargo, no faltaron dudas ligadas al tema medioambiental: “¿Habría una posible contaminación hacia otros cultivos de la bacteria modificada?” “¿Qué cuidados hay que tener con algo modificado genéticamente?”. Gran parte de los presentes mostraron interés por problemas actuales que aquejan a la humanidad en relación con el medio ambiente y les pareció que buscar alternativas *eco-amigables* como lo es *Hydrobium Etlí* demostraba que la comunidad científica estaba preocupada por el porvenir de las comunidades rurales.

Después de terminada la asamblea recibimos algunos comentarios

individuales, donde se expresaba la aprobación por informar a la comunidad sobre las vanguardias tecnológicas y la forma en que podrían relacionarse con sus actividades de una forma positiva y productiva. Uno de los hombres incluso se mostró accesible para mostrarnos en su casa la milpa y la planta de *iba chichi* – frijol en mixteco – que ellos siembran usualmente. Tal fue el grado de aceptación que esta misma persona nos ofreció su casa en caso de una prueba piloto para la implementación.

Como las mujeres no asistieron a la asamblea, fuimos a sus casas. Nos decidimos a realizar la misma explicación con el mismo esquema en algunas casas, algunas de las mujeres nos permitieron realizar grabaciones también. Al principio mostraron un poco de timidez, pero luego comenzaron a plantear dudas similares a las que escuchamos en la asamblea y mostraron preocupación sobre la posibilidad de que los árboles frutales fueran contaminados o existieran repercusiones sobre el frijol como alimento. No obstante las dudas precisas y la preocupación lógica, ella también se mostraron receptivas y emocionadas con el proyecto.

La intención principal de llevar la explicación del proyecto a los comuneros de Cuatzoquitengo fue la de *promover* la Biología Sintética en un lugar potencial de aplicación, donde es posible que las innovaciones científico-tecnológicas intervengan en la sociedad de forma positiva.

NOTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

En buena medida, la eficacia que los proyectos de innovación científica tecnológica pueden tener en la práctica, es decir, en el pleno funcionamiento dentro de una sociedad, está en estricta función de la manera en la que dicha tecnología se implemente. La implementación es la fase decisiva que relacionará directamente el adelanto tecnológico, y la ciencia en su generalidad, con la sociedad. Lo que impactará en la opinión que ésta pueda tener sobre aquél.

Si bien no es tarea del presente texto la elaboración minuciosa del proyecto de implementación y ejecución, sí podemos delinear los aspectos fundamentales que tal proyección requeriría para tener impacto positivo en la sociedad. Aunque no es propiamente un requisito, el hecho de que Cuatzoquitengo tenga una estructura comunal de desenvolvimiento societal posibilita la participación de los interesados en la fase de implementación.

En caso de que la implementación se llevara a cabo en un lugar sin estructura

social comunal se deberá entonces promover la creación *ex profeso* de mecanismos de toma de decisión conjunta en un ambiente de participación verdaderamente democrática para lograr resultados previsibles y benéficos para los habitantes de la localidad. La implementación *desde arriba* provoca de nuevo dinámicas políticas de exclusión y marginalización. Al ser estructura comunal ya existen mecanismos de participación conjunta y toma de decisiones informada y consensual.

Con el objetivo de que la tecnología beneficie a toda la comunidad y el aprovechamiento de la tecnología no sea desigual, los mecanismos de participación en la que las autoridades electas deciden conjuntamente con los sectores más importantes de la sociedad y no sólo les avisan a estos sobre los cambios políticos, suponen una herramienta transparente, participativa y plenamente democrática (lo que podría brindar experiencia para las relaciones de las comunidades y el Estado mismo).

Por los beneficios que encontramos en estos mecanismos de participación conjunta, es que proponemos, como la mejor vía de implementación, la creación de una cooperativa integral, en concordancia con los requisitos legales del *autoabastecimiento*. Los beneficios de esta forma de asociación son claros, pues en lugar de ser consumidor de un servicio prestado por CFE, guiándose por la vía legal, ellos serán en comunidad los productores de la energía que consuman y los beneficiarios de los ingresos que su producción genere. El cooperativismo permite, por los principios que lo forman, la participación horizontal de sus miembros, lo que impulsa formas más democráticas de convivencia en el desarrollo conjunto.

Se propondrán también mecanismos que promuevan la autonomía de la comunidad. Sabemos que por desgracia la implementación de este tipo de tecnologías a la larga genera más dependencia, por lo que abogamos por la capacitación en un sistema de promotores (instructores). La institución que implemente el programa deberá capacitar a un determinado número de personas que serán los que llevarán a la práctica el programa. Estos a su vez deberán capacitar a los miembros de la comunidad que se consideren más aptos para promover el proyecto dentro de ella, y capacitar a las siguientes generaciones. De ser posible, miembros de la comunidad deberán profundizar su entendimiento del proyecto estudiando carreras que ayuden a fortalecer los conocimientos requeridos para su continuidad (apoyados por el gobierno federal). De esta manera se habrán otorgado las herramientas a la comunidad para que el proyecto continúe sin depender en todo momento de alguna institución federal.

Con lo anterior no queremos cerrar el diálogo entre la institución promotora y

la comunidad, pero sí buscamos contrarrestar el posible monopolio por parte de alguna institución (ya sea pública o privada) al transmitir el conocimiento a la comunidad, reduciendo, como lo anunciábamos, la dependencia que la aplicación de estas tecnologías genera.

Estas recomendaciones nos permiten definir al proyecto no sólo como impulsor de desarrollo rural sustentable, por los beneficios económicos, ecológicos y sociales que traería a la comunidad. También como un promotor de democracia, al llevar energía eléctrica a comunidades que han sido marginadas de sus beneficios, mientras que se implementa con mecanismos de participación horizontal.

CONCLUSIONES

México requiere respuestas urgentes. Nuestra dependencia a los combustibles fósiles en el consumo energético nacional lo demuestra. Pero la respuesta deberá ser no sólo inmediata sino integral, tendrá entonces que estar formulada como política prioritaria de Estado. El éxito, o en su defecto, el fracaso del modelo de desarrollo nacional en cualquier economía está en estricta función de la capacidad política de sus dirigentes para diseñar rutas de abastecimiento energético de largo alcance. El actual esquema energético únicamente vislumbrará modificaciones en la medida que se apueste sistemáticamente por innovaciones tecnológicas renovables, limpias y *eco-amigables* que sean, sobretodo, productivas.

Sin seguridad energética no hay desarrollo sustentable, es por ello que en esta investigación buscamos resaltar la importancia de la diversificación de la matriz energética nacional por medio de la incorporación de las fuentes de energía renovables. En su impulso, este tipo de energías actúan como mecanismos sustentables, porque no sólo traen consigo el uso de tecnologías para el cuidado del medio ambiente, son a la vez materia de ingreso y empleo, por lo tanto, de bienestar social.

En el caso específico del proyecto *Hydrobium Etli*, que apoya la electrificación en zonas marginadas, las energías renovables se vuelven motores de desarrollo rural con la creación de pequeñas cooperativas que mejoran directamente las condiciones de vida. Lo anterior se debe no sólo a la creación de empleos, sino al ahorro del gasto que normalmente hubiera significado el servicio eléctrico.

La propuesta aquí presentada, desde la biología sintética, demuestra su

compromiso con la sociedad al ser un proyecto jurídicamente viable dentro del marco de la legalidad institucional mexicana, la única vía políticamente sustentable de modificación estructural. Por su parte, la figura jurídica de la comunidad, junto con mecanismos de cogestión y participación democrática sustentan la posibilidad de implementación productiva. *Hydrobium Etli* es un esfuerzo mexicano por la verdadera construcción de un México sustentable.

Como última anotación, estamos seguros que la experiencia del estudio de caso demostró la receptividad que esta comunidad indígena presenta a la introducción de nuevas tecnologías que mejoren sustancialmente la calidad de vida, además de contemplar las formas en las que un proyecto de tal envergadura debería ser abordado.

REFERENCIAS

CÁRDENAS, C. (2008) Las perspectivas del sector energético en México. *La crisis del Petróleo en México*. México. ITESM-SMCR-Foro Consultivo Científico y Tecnológico. 63-75.

DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN (2008) *Ley de promoción y desarrollo de los bioenergéticos*. México. Disponible en <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LPDB.pdf>. Acceso, Abril de 2011

DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN (2008) *Ley para el aprovechamiento de energías renovables y el financiamiento de la transición energética*. México. Disponible en <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAERFTE.pdf>. Acceso, Abril de 2011

MARCOS, E. (2008) Situación y perspectivas de la industria petrolera. *La crisis del Petróleo en México*. México. ITESM-SMCR-Foro Consultivo Científico y Tecnológico. 46-62.

PODER EJECUTIVO FEDERAL (2005) *Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados*. México. Disponible en <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/compi/ley180305.htm>. Acceso, Abril de 2011

PODER EJECUTIVO FEDERAL (2007) Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012. México. Disponible en <http://pnd.presidencia.gob.mx/>. Acceso, Abril de 2011

PODER EJECUTIVO FEDERAL (2010) *Visión México 2030*. México. Disponible en <http://www.vision2030.gob.mx/>. Acceso, Abril de 2011

SECRETARÍA DE ENERGÍA (2009) Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables. México.

VALDIVIA, G. (2008) La crisis del petróleo en México, el sector energético nacional y la visión de largo plazo del desarrollo del país. *La crisis del Petróleo en México*. México. ITESM-SMCR-Foro Consultivo Científico y Tecnológico. 31-45.

VILLAVICENCIO C, P.M. (2010) Las negociaciones internacionales sobre el cambio climático: rumbo a la COP16. *Revista Catalana de Dret Ambiental*. Barcelona. 1-31.

WORLD BANK. (2006) *La pobreza rural en México*. World Bank. Generación de Ingreso y Protección Social para los Pobres. México.

ACRÓNIMOS

CFE Comisión Federal de Electricidad

CIBIOGEM Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados

CONACyT Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

GEI Gases de Efecto Invernadero

COP Convención de las Partes

PAN Partido Acción Nacional

PEMEX Petróleos Mexicanos

PND Plan Nacional de Desarrollo

SAGARPA Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación. Secretaría de Estado

SEMARNAT Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Secretaría de Estado

SENER Secretaría de Energía. Secretaría de Estado

SHCP Secretaría de Hacienda y Crédito Público. Secretaría de Estado

SSA Secretaría de Salud. Secretaría de Estado.

UNAM Universidad Nacional Autónoma de México

ⁱ“La pobreza rural en México” es un estudio realizado por El Banco Mundial. El estudio fue encargado por el gobierno mexicano para analizar el fenómeno del ingreso en áreas rurales de México sin tocar temas como salud, educación e infraestructura social, ya que el ingreso supone el conflicto más profundo de tales áreas en nuestro país.

ⁱⁱPetróleos Mexicanos, de ahora en adelante PEMEX, es la empresa estatal mexicana encargada de gestionar la exploración, explotación y comercialización de hidrocarburos en el territorio nacional. Fue creada el 7 de junio de 1938 por el presidente Lázaro Cárdenas.

ⁱⁱⁱEs tal la importancia del sector petrolero en México que Gil Valdivia afirma que para el período 2001-2006 el equilibrio macroeconómico fue bueno, debido, principalmente, a la entrada de divisas internacionales por motivos del máximo histórico logrado en la extracción del petróleo: 2.2 millones de barriles por día en el 2004 sólo de Cantarell.

^{iv}Con base en la bonanza petrolera, la federación promovió el uso de un mecanismo llamado PIDIREGAS que tiene como objetivo el financiamiento del presupuesto para la petrolera estatal mexicana PEMEX, avalado previamente por el Congreso.

^v Véase el “Programa Sectorial de Energía 2007-2012” en el portal de la Secretaría de Energía. Recuperado el 2 de Septiembre de 2011 en México DF:

[<http://www.sener.gob.mx/res/0/Programa%20Sectorial%20de%20Energia%202007-2012.pdf>]

^{vi}Datos tomados de The World Bank. Recuperado el 2 de Septiembre de 2011 en México DF:

[www.worldbank.org]

^{vii}Ibíd.

^{viii}La Comisión Federal de Electricidad, de ahora en adelante CFE, es un órgano paraestatal encargado del servicio público de la energía eléctrica. Fue fundado el 14 de Agosto de 1937.

^{ix}Véase el “Programa Sectorial de Energía 2007-2012” en el portal de la Secretaría de Energía. Recuperado el 2 de Septiembre de 2011 en México DF:

[<http://www.sener.gob.mx/res/0/Programa%20Sectorial%20de%20Energia%202007-2012.pdf>]

^xLos “Nódulos” son estructuras que se forman en las raíces de las plantas y proveen un ambiente anaeróbico.

^{xi}La “Biorremediación” son procesos que utilizan microorganismos, hongos, plantas o las enzimas derivadas de ellos para retornar a su condición natural, a un medio ambiente alterado por contaminantes.

^{xii}“Construcción” como los genes sintéticos. Éstos constituyen el sistema que permitirá la producción de hidrógeno.

^{xiii}Es preciso aclarar que el Protocolo de Kyoto es uno de los esfuerzos más importantes, aunque no el más efectivo, que la comunidad internacional ha construido para combatir los efectos del cambio climático.

^{xiv}De ahora en adelante GEI

^{xv}Todas las aquí mencionadas son figuras reconocidas por la constitución y tienen como objetivo impedir la introducción de capital privado en la generación eléctrica así como evitar el acaparamiento de la producción.

^{xvi}Cifras tomadas de la Secretaría de Energía para el año 2009, año en el que se aprueba tal programa.

^{xvii}Datos de acuerdo con el *Censo General de Población y Vivienda 2000* reportado por el INEGI. Recuperado el 2 de Septiembre de 2011 en México DF:

[<http://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/proyectos/bd/consulta.asp?p=14048&c=10252&s=est#>]

^{xviii}Lengua indígena de México que se encuentra distribuida en los Estados de Puebla, Oaxaca y Guerrero principalmente.

^{xix} De acuerdo a la secretaria de agricultura y recursos hidráulicos S.A.R.H.1970 México.

Muñoz, D., A. Mendoza, F. López-Galindo, A. Soler y M.M. Hernández. 2000. Edafología. Manual de métodos de análisis de suelo. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, México, D.F., pp. 82.

Se anexa prueba de suelo.