

## Capítulo 4. La Electrificación Rural

### 4.1 La Importancia de la Electrificación Rural

Tomando en cuenta que el 85% de los que no tienen acceso a la red eléctrica provienen de zonas rurales, y los patrones actuales de suministro de energía van a tener muchos problemas para abastecer dichas comunidades de electricidad, se requieren de extensos proyectos de electrificación rural para incrementar los indicadores de tasas de electrificación. Si se ve de un punto de vista económico, no es rentable llevar energía a muchos de los poblados sin electrificación por el bajo volumen de demanda de energía y el limitado poder de compra de estas poblaciones, con lo que se convierte en un círculo vicioso. Además se debe considerar que la gran mayoría de las poblaciones rurales sin electrificar se encuentran aisladas de vías de comunicación y que las situaciones geográficas no son favorables para la extensión de la red. Por último, las líneas de transmisión son vulnerables a fenómenos naturales y en ocasiones hay temas políticos o económicos que hacen que la expansión de las redes eléctricas no sea una opción viable para ciertas comunidades, tanto para mercados eléctricos regulados o desregularizados.

La falta de acceso a la energía convencional hace que estas personas recurran al uso de otras fuentes para iluminación o electricidad. En estos casos generalmente se utilizan querosenos, gasóleos (diesel) y otras lámparas de gas. Otra alternativa son baterías y alternadores de automóviles, entre otros aparatos con pilas para poder proveer de energía a un par de focos, una televisión o un pequeño radio. Estas alternativas tienen una consecuencia importante en costo, seguridad y de daño al medio ambiente: Una lámpara de queroseno emite gases tóxicos para el ambiente y para la salud. Cabe resaltar que además de ser una fuente de energía cara e ineficiente, los proveedores de estos combustibles están probablemente a varios kilómetros de sus hogares y pueden abusar del consumidor final. Por el otro lado, los alternadores de coche no están diseñados para descargas profundas y en muchas ocasiones acaban siendo mal depositados causando fugas de los ácidos que dañan al medio ambiente.

En el caso particular de México, según el último censo del INEGI en 2005, el 2.49% de la población no tiene acceso a la red eléctrica, y hay varios más que tienen un acceso muy deficiente. A continuación se presenta una tabla con los estados con mayor porcentaje de habitantes sin electricidad<sup>37</sup>:

**Tabla 3 Estados con menor acceso a la energía eléctrica.**

Estado	Porcentaje
Guerrero	6.33%
Chiapas	5.88%
Oaxaca	7.21%
San Luis Potosí	5.58%
Veracruz	4.67%

<sup>37</sup> Estimaciones de CONAPO en base en el II Censo de Población y Vivienda 2005

Se calcula que en México hay más de seiscientos cuarenta mil viviendas sin acceso a la red eléctrica.<sup>38</sup> Como podemos ver en tablas anteriores, en regiones de Asia y África, estos números son mucho mayores, sin embargo vale la pena incluir estos datos considerando que la propuesta inicial de esta tesis es para comunidades en México, sin embargo vale la pena mencionar que se busca extrapolar el modelo a diferentes regiones del mundo, siempre tomando en cuenta cuestiones locales en relación al medio ambiente, recursos locales, economías de escala y barreras sociales.

Considerando la importancia que tiene la electricidad con las posibilidades de desarrollo, la electrificación debe ser un tema prioritario en la agenda política y de desarrollo de los países. Además, se debe asegurar que esta estrategia tenga efectos duraderos y efectivos.

## **4.2 Electrificación Rural con Energías Renovables**

Considerando los puntos abordados en el capítulo anterior, podemos inferir que las tecnologías descentralizadas, especialmente las de energía renovable son posiblemente la mejor si no es que la única manera de proveer de electricidad a las poblaciones de comunidades marginadas. Esto es considerando que se busca encontrar el mejor balance entre una fuente de energía que sea descentralizada, económica, limpia y sustentable en todas sus vertientes. Existe una variedad interesante de tecnologías que se pueden utilizar en zonas rurales y que son sustentables y contribuyen a combatir el cambio climático. Asimismo, hay una serie de organismos y programas que promueven el uso de dichas tecnologías en zonas marginadas, principalmente provenientes de países y fondos europeos o norteamericanos.

A pesar de que hoy en día muchas tecnologías renovables en cuanto a costos por generación bruta de energía no son la opción más viable en el sentido económico estricto (ya que si se toman en cuenta las externalidades al medio ambiente puede ser diferente), éstas tecnologías comienzan a vislumbrarse como una opción muy interesante para zonas marginadas y rurales, ya que el costo de expandir la red de distribución o de crear nuevas plantas para los requerimientos de dichas zonas es mucho mayor al de los sistemas autónomos y renovables de energía, los cuales pueden proveer energía para servicios vitales como la iluminación, electrificación para aparatos y electrodomésticos, educación, comunicación y servicios de salud. Es también importante resaltar que los sistemas descentralizados requieren de menor mantenimiento y que éste se puede hacer con capacitación local. Además, como parte de los objetivos del milenio, se requieren de soluciones en energía adecuadas para incrementar el acceso a la electricidad y que vayan de la mano con el objetivo de Sostenibilidad del Medio Ambiente.

### **4.2.1 Energía Solar**

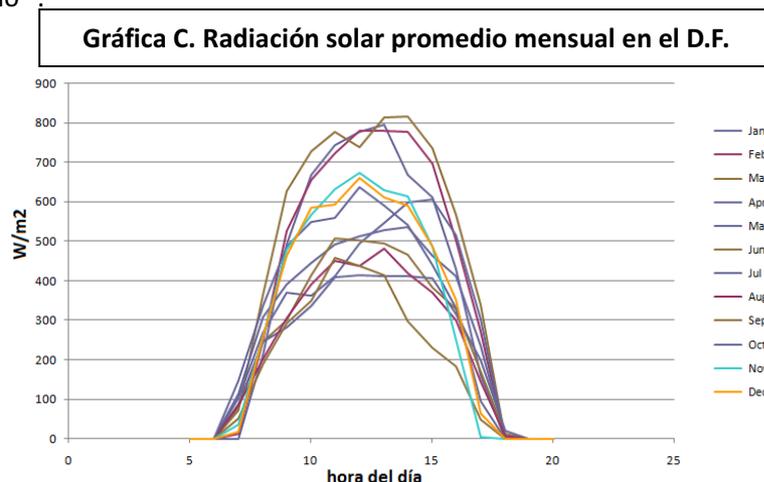
De las posibles fuentes de energía renovable para proyectos de electrificación rural, la que vislumbra como una alternativa viable en México para la mayoría de los casos es la energía solar. Esto es debido a que es una fuente relativamente más constante en que el viento, por ejemplo.

---

<sup>38</sup> Estimaciones de CONAPO en base en el II Censo de Población y Vivienda 2005

Además, considerando que se busca electrificar zonas aisladas, la tecnología de energía solar es la que tiene los costos más bajos de mantenimiento. Ésta tesis va a abordar una solución tecnológica basada en energía solar. A continuación se hará un muy breve repaso de la energía solar y su potencial en México.

La energía solar es una fuente limpia, inagotable y abundante, tanto así que la energía que llega a la tierra proveniente del sol es 10,000 veces mayor a la demanda energética mundial<sup>39</sup>. Muchos de los procesos que ocurren en nuestro planeta (por ejemplo la fotosíntesis) dependen de la energía solar y los seres humanos han encontrado formas de utilizar dicha energía desde hace ya miles de años. Hoy en día hay dos principales usos de la energía solar: la térmica y la fotovoltaica. La energía solar térmica utiliza la energía solar como agente de transferencia de calor para un fluido y posteriormente es utilizado para algún proceso. Se utiliza esta energía para aplicaciones desde calentamiento de agua para regaderas, calentamiento de fluidos térmicos para ciclos termodinámicos y para concentrar la energía y obtener altas temperaturas para diversos procesos industriales. La energía solar fotovoltaica convierte directamente la energía solar en forma de fotones a energía eléctrica, mediante el uso de materiales semiconductores, como el Silicio monocristalino y poli-cristalino, el Cadmio, el Indio, entre otros. Se combinan capas de materiales dopados positiva y negativamente para que al incidir los fotones de la radiación solar, exciten los electrones creando una corriente eléctrica. No se busca profundizar en el proceso físico-químico que ocurre, lo importante es entender la tecnología que permite obtener energía eléctrica en forma de flujo de electrones de los fotones de la luz solar. La radiación incidente del sol llega en la forma de Irradiación, que se mide en  $W/m^2$ . Esta energía llega a la atmósfera y al incidir en una superficie por un determinado tiempo, la radiación solar se convierte en energía la cual se mide en  $KWh/m^2$ . México tiene una ubicación privilegiada en relación a este recurso y cuenta con una de los mayores promedios de radiación solar anual a nivel mundial, con índices entre los  $4.4 kWh/m^2$  por día en el centro a  $6.3 kWh/m^2$  en el norte, y un promedio de  $5 kWh/m^2$  al día<sup>40</sup>. A continuación se presenta un ejemplo de las curvas de radiación solar para el Distrito Federal en los distintos meses del año<sup>41</sup>.



<sup>39</sup> DESERTEC Foundation. [www.desertec.org](http://www.desertec.org)

<sup>40</sup> Programa de Energías Renovables. SENER 2009

<sup>41</sup> Elaboración propia a partir de datos de radiación solar en el Distrito Federal de la NREL (National Renewable Energy Laboratory)



2. Lograr la integración social, económica y tecnológica de las comunidades rurales a los sistemas de energía solar, a fin de elevar el nivel de desarrollo de su población, además de promover la capacitación en su utilización;
3. Utilizar preferentemente la energía eléctrica producida a partir de sistemas solares para el suministro de energía en zonas donde actualmente no llega la cobertura del Sistema Eléctrico Nacional.

Se puede observar claramente que la SENER y el gobierno mexicano han identificado la oportunidad que se tiene para el aprovechamiento de la energía solar y específicamente para temas de electrificación rural. Considerando estos aspectos y conforme se vaya involucrando más la iniciativa privada está claro que la industria de la energía solar tiene perspectivas interesantes para el beneficio económico del país. Con esto, se puede inferir que el mercado de electrificación a base de energía solar es un mercado emergente con gran potencial. Como veremos en esta tesis, este potencial no solamente es económico y ambiental, sino también social.

### 4.3 Esquemas de Financiamiento

Una vez que se han definido las ventajas ambientales, sociales y principalmente económicas de promover el desarrollo de proyectos de electrificación con energías renovables, es importante mencionar que no es del todo fácil y que está claro que se requieren de esquemas de financiamiento y de grandes esfuerzos de diferentes actores. La falta de inversión, marcos regulatorios y temas de transferencia de tecnología son las principales causas del poco desarrollo a la fecha de proyectos de este tipo, por lo que se requieren adaptar esquemas financieros bien fundamentados y adaptables para que este tipo de iniciativas crezcan. Es aquí donde se entra en un tema de buscar responsables de llevar a cabo dichas iniciativas. El pensamiento convencional indicaría que se deben involucrar subsidios gubernamentales o donaciones por parte de fundaciones u organismos internacionales. Aunque es verdad que puede ser una forma de conseguir el financiamiento para dichos proyectos; es importante, considerando que se debe trabajar en comunidades aisladas y marginadas, romper el esquema de paternalismo e introducir nuevos esquemas de financiamiento que promuevan el desarrollo y sean inclusivos con los miembros de la comunidad, para fomentar aspectos como el sentido de pertenencia de la tecnología, la relación esfuerzo-beneficio y buscar involucrar a los miembros de las comunidades en crear nuevos proyectos a partir del acceso a la energía que promuevan su desarrollo y crecimiento. El *Alliance for Rural Electrification* crea una lista de los esquemas de financiamiento posibles, de los cuales en la tabla siguiente se pueden ver los más aplicables a México y las ventajas y desventajas de las mismas<sup>43</sup>:

---

<sup>43</sup> Tabla elaborada con base en información del artículo “Green Light for renewable energy in developing countries”. Alliance for Rural Electrification.

Esquema	Descripción	Ventajas	Desventajas
<b>Subsidios y Licitaciones</b>	Sistemas adquiridos por el gobierno mediante licitación al mejor postor. El licitante tiene compromisos de operación y mantenimiento	Procedimientos estandarizados, fácil escalabilidad y desarrollo de proyectos.	El proyecto no genera sus propios recursos. Riesgo de baja aceptación y adaptabilidad en la comunidad
<b>Sistema Comunitario</b>	Cada comunidad crea su pequeña red eléctrica y asumen responsabilidad de su financiamiento.	Hay un alto interés de la comunidad por que funcionen sus sistemas: Beneficio Económico	Solo aplica en comunidades muy organizadas y con acceso a recursos financieros.
<b>Venta Directa</b>	Compañías privadas venden o alquilan sistemas a los que los pueden comprar.	No hay subsidios.	No es viable para comunidades rurales marginadas
<b>Alianza Privada con Gobierno</b>	Un productor independiente se encarga de producción y distribución y el gobierno maneja la tarifa y los medidores.	Se moviliza el capital privado y se asegura operación y mantenimiento.	Es difícil que una empresa privada lo vea como un proyecto rentable y se replique el proyecto.
<b>Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)</b>	Se venden bonos de carbono a partir del beneficio ambiental del proyecto.	Es un incentivo importante para este tipo de proyectos.	El proceso es muy costoso y largo, por lo que solo se justifica para proyectos muy grandes.
<b>Donaciones</b>	Se donan sistemas de Energía Renovable para comunidades de escasos recursos.	Se lleva la tecnología de una manera fácil y rápida.	No hay sentido de pertenencia local y no se asegura el mantenimiento.
<b>Micro-Créditos</b>	Se financia el sistema y el beneficiario lo paga a plazos adecuados a su nivel socio-económico.	Responsabilidad personal del beneficiario y sentido de pertenencia y de esfuerzo/beneficio	A reserva de que exista una institución micro-financiera. No aplicable para redes sino para sistemas particulares.

Esta tesis busca proponer un esquema de financiamiento que tenga el mayor impacto social hacia el beneficiario para así asegurar que la solución tecnológica provista para las comunidades rurales en México sea integral y tenga efectos duraderos y que promuevan el desarrollo. Además, es importante hacer un análisis de ciclo de vida del equipo, tomando en

cuenta un plazo de 15 a 25 años, en el cual se toman en cuenta los costos iniciales, de operación y mantenimiento y de reemplazos y gastos posteriores. Por lo tanto, se propone ya sea un esquema de sistemas comunitarios o esquemas de micro-créditos, sin descalificar que se ayuden a subsidiar algunos gastos mediante alianzas con gobierno u empresas, fundaciones o donadores privados. Además, resaltar que siempre se debe tomar en cuenta, si el tamaño del proyecto lo amerita, buscar un MDL para su realización.

#### **4.4 Retos y Estrategias**

Una vez establecida la importancia de la electrificación rural y lo importante que pueden ser las fuentes renovables para proveer de energía a las comunidades rurales más alejadas, es importante comprender que esta oportunidad económica tan importante tiene grandes retos por delante y que se requiere de estrategias claras y concisas para su realización. La tarea es extremadamente difícil ya que se requiere tomar en cuenta muchos factores internos y externos que pudiesen determinar el éxito o fracaso de esta propuesta. Existen grandes retos técnicos, logísticos y de operación pero sobre todo retos en el ámbito social y de aceptación comunitaria. Debemos entender que las comunidades aisladas tienen una forma de vida con la que han subsistido miles de años y que la introducción de nuevas tecnologías y cambios en su modo de vida son un tema muy delicado y que en ocasiones puede ser rechazada ya que los usos y costumbres de las comunidades rurales y los grupos indígenas están muy arraigadas y no son fáciles de cambiar, por más que pueda parecer lógico para el lector el hecho de que el acceso a la energía es clave para su desarrollo. Además, es importante considerar que proveer sistemas descentralizados de energía puedan aislar aún más a las comunidades, ya que en algunos casos lo que más buscan los gobiernos es que las poblaciones muy aisladas se integren a la sociedad (un tema muy debatible). El segundo gran reto es que estos programas de electrificación sean sustentables económicamente y que no dependan directamente de subsidios y apoyos a “fondo perdido”, ya que para que realmente crezcan las tasas de electrificación, es importante que sea atractivo involucrarse en este tipo de proyectos para las empresas privadas, tomando en cuenta el potencial económico que hay para desarrollar en la base de la pirámide productiva. Si se comprueba que trabajar en temas de introducción de tecnologías en comunidades rurales es económicamente viable y se logra optimizar los costos y temas de logística para que realmente se convierta en un negocio rentable, se van a tener logros más rápidos y de mayor impacto. Hoy en día comienzan a surgir proyectos de este tipo a nivel mundial, sin embargo se requiere de mayor inversión y más proyectos para que se tenga un efecto contundente en el desarrollo de las comunidades.

Existen variedad de estrategias que se mencionan en el capítulo dos en relación a trabajar con la base de la pirámide acerca de crear poder de compra y ofrecer créditos a los miembros de la comunidad, además de buscar crear nuevos mercados y habilitar a los miembros de la comunidad como agentes de cambio para que se adueñen de los sistemas, en lugar de imponer nuevas tecnologías a las cuales no están acostumbrados y en su mente no necesitan, por lo que al no verle el valor acaban vendiendo al mejor postor o arrumbando. Es importante también crear el sentido de esfuerzo-recompensa, por lo que es necesario que el beneficiario tenga que hacer algún pago o

esfuerzo por adquirir el sistema. Esto posteriormente genera un precedente para futuros proyectos donde reconocen que si se esfuerzan los resultados son muy positivos (especialmente en México donde se acostumbró muchos años a los indígenas a recibir de “papa gobierno” sin dar nada a cambio, lo cual tiene consecuencias en la mentalidad de las poblaciones rurales). Dentro de las recomendaciones de la *Alliance for Rural Electrification* se encuentran las siguientes estrategias<sup>44</sup>:

- Se debe crear un marco regulatorio adecuado para promover proyectos de energía renovable, que:
  - o Elimine distorsiones del mercado: Reestructurando impuestos y eliminando subsidios gubernamentales a alternativas fósiles.
  - o Contenga incentivos económicos para la electrificación rural que atraiga inversión privada e iniciativas locales.
- Tomando en cuenta la importancia de involucrar al sector privado en la electrificación rural, se deben de encontrar herramientas financieras basándose en modelos probados para promover retornos de inversión que compensen el alto riesgo de los proyectos:
  - o La regulación debe ser clara en permitir que el sector privado se involucre en el sector energético (específicamente en lugares como México).
  - o La tarifa o crédito a cobrar al beneficiario debe ser tal que cubra la operación y mantenimiento, administración en sitio y seguridad, costos de reemplazos (Ej. Baterías), costos administrativos y financieros.
  - o En caso que la capacidad de pago del beneficiario no pueda cubrir los sistemas, es legítimo incorporar subsidios del gobierno, que con el desarrollo de las economías rurales y mercados locales a partir de la electrificación, se puedan eliminar con el tiempo.
- El tema de pertenencia es clave en el éxito de proyectos de electrificación rural, el usuario final o el operador de los sistemas deben tener claro los beneficios y sentido de pertenencia del sistema y estar motivados para su cuidado y operación a largo plazo. Además, todos los involucrados deben trabajar juntos para desarrollar capacidades y que las soluciones de electrificación sean sustentables a largo plazo.

En relación al tema de viabilidad económica de los proyectos, se deben de considerar varios aspectos y se debe encontrar un balance entre los diferentes actores que se involucren en el proyecto. Por un lado no necesariamente se debe desvincular a gobiernos federales y locales, ya que dentro de sus responsabilidades está ofrecer servicios básicos a la población, sin embargo se debe luchar por que sea atractivo para la industria privada y que al mismo tiempo no se subsidien los proyectos al 100%, para hacer una transición entre la manera que se llevaban a cabo los proyectos gubernamentales en comunidades hacia un mercado donde se trabaja completamente independiente de los gobiernos (esta opción se vuelve viable cuando se logran optimizar los costos de operación y abaratar los costos para que el usuario pague un crédito alcanzable y que al mismo

---

<sup>44</sup> Elaborado y resumido con base en los artículos “Green Light for renewable energy in developing countries”. y “Renewable Energy Technologies for rural electrification. The role and position of the private sector” del *Alliance for Rural Electrification*.

tiempo tenga beneficio económico para la empresa involucrada). Es importante tomar en cuenta el involucramiento de ONGs que sirvan como enlace en las comunidades y lleven a cabo programas de conciencia ambiental, proyectos productivos y desarrollo comunitario para que los efectos de la electrificación perduren, y que al encontrar nuevos proyectos en las comunidades estas ONGs puedan ser sustentables económicamente al vincular los productos de los proyectos con clientes en ciudades, por ejemplo.

Por último, es importante considerar que para cada región y cada comunidad se deben tomar enfoques personalizados y de acuerdo a las costumbres de cada comunidad, ya que es importante tener en cuenta que el cliente rural no se puede tratar como un cliente estandarizado, ya que se requiere de sensibilidad social para adecuar los programas (dentro de ciertos lineamientos) a los diferentes tipos de micro-cosmos que existen en cada comunidad. Además, el proceso de aceptación comunitaria es largo y requiere de esfuerzos importantes y de atención personalizada, por lo que se debe encontrar un balance perfecto entre la eficiencia y el trato con las personas, para que el impacto social del proyecto vaya de la mano con ganancias económicas y eficiencia en la operación.