

# ENERIAAC

Edición 2013- Año V - Vol 5

ISSN: 1390 - 5171



4 Editorial / *Editorial*

9 OLADE, 40 años: raíces políticas, trayectoria y vigencia de un organismo político y técnico de carácter estratégico para América Latina y el Caribe.

*OLADE, 40 years: political roots, trajectory and actuality of a strategical, political and technical organism for Latin America and the Caribbean.*

51 Oportunidades y limitaciones de sistemas bioenergéticos (a partir de recursos del norte argentino) en un marco de sustentabilidad: estudio, propuestas y evaluación.

*Scope and limitations of bioenergy systems (from resources of the Argentine north) in a framework of sustainability: study, proposals and assessment.*

87 EP Petroecuador y la construcción del proceso de integración energética.

*EP Petroecuador and the construction of the energy integration process.*

139 1200 MW de nuevas plantas eólicas en Uruguay: experiencias desarrolladas en coordinar políticas energéticas y acciones empresariales.

*1200 MW new wind power plants in Uruguay: experiences developed in coordinate energy policies and companies actions.*

161 El papel de las Micro-redes en el aumento, acceso y diversidad en el sector de la energía.

*The role of Micro-grids in increasing, access and diversity into the energy sector.*

189 Estudio de la Energía eólica en el Istmo de Tehuantepec, dos casos de estudio La Ventosa y San Dionisio del Mar.

*Wind Energy in the Isthmus of Tehuantepec, two study cases, La Ventosa and San Dionisio del Mar.*

**El papel de las Micro-  
redes en el aumento,  
acceso y diversidad en el  
sector de la energía**

*The role of Micro-grids  
in increasing, access and  
diversity into the energy  
sector*

María A. Ruótolo

## María A. Ruótolo



Graduada en Ingeniería por la Universidad Nacional de La Plata (Argentina), ha realizado un Máster en Energía Eólica en la Universidad Politécnica de Madrid (España). Actualmente es becaria Fulbright y candidata para alcanzar el título de Doctor en Políticas Energéticas y Medioambientales de la Universidad de Delaware (EEUU). Sus áreas de investigación incluyen, entre otros: Micro-redes (*Micro-grids*), Redes Inteligentes (*Smart Grids*), Generación Distribuida (*Distributed Generation*) y Eficiencia Energética (*Energy Efficiency*).

*Graduate in Engineering from the National University of La Plata (Argentina), has a Master Degree in Wind Energy by the Polytechnic University of Madrid (Spain). She is currently a Fulbright Scholar and a candidate to achieve the PhD Degree in Energy and Environmental Policy, Delaware University (USA). Her areas of research include, among others: Micro-grids , Smart Grids, Distributed Generation and Energy Efficiency .*

[ing.ruotolo@gmail.com](mailto:ing.ruotolo@gmail.com)

## **Resumen**

El trabajo realiza un análisis sobre los beneficios de considerar las micro-redes en la electrificación de regiones aisladas de población con cierto grado de dispersión. El estudio se fundamenta en el hecho de que los enfoques tradicionales para la atención de los servicios energéticos a esas regiones son insuficientes para atender a todos; sin embargo, los nuevos conceptos, tales como micro-redes, pueden ser una alternativa viable de gran alcance para la expansión del acceso a la energía limpia y confiable para todos.

## **Abstract**

The paper makes an analysis of the benefits of considering micro-networks within electrification of isolated regions with a degree of dispersion. The study is based on the fact that traditional approaches to the provision of energy services to these regions are insufficient for everyone; however, new concepts, such as micro-networks can be a powerful viable alternative for expanding access to clean and reliable energy for all.



## Introducción

El siglo 21 promete muchos cambios para las industrias relacionadas con la energía, especialmente a través del aumento de las energías renovables (ER) tecnologías y estrategias de distribución alternativas. En los países desarrollados, el crecimiento de estas tecnologías y la desregulación de los mercados de energía ha dado lugar a conflictos entre los intereses de generación a gran escala tradicionales y los recursos locales generación (Kamenetz, 2009). A medida que se dan estos cambios, la creciente demanda en muchos países requerirá capacidades de generación adicionales. La integración de tanto los recursos a gran escala y a pequeña escala de energía renovable intermitentes en la red para satisfacer esta demanda, será difícil (Marsden, 2011).

Un aspecto clave de la integración consiste en los límites de la transmisión actual y la infraestructura de distribución (T&D) en muchas naciones. Las redes eléctricas nacionales tendrán vastas nuevas líneas para mover grandes volúmenes de energía a mayores distancias. Ampliar la infraestructura T & D representa generalmente una ruta costosa para aumentar la oferta. En las naciones desarrolladas, las nuevas líneas pueden costar entre US \$ 1 millón y \$ 10 millones por milla (Kamenetz, 2009). Además, las pérdidas actuales de T & D de 10.7% dan como resultado la pérdida de la producción de energía y mayores pérdidas en los ingresos, lo cual sólo aumenta con la expansión de la red (Marsden, 2011; Kamenetz, 2009).

Estos problemas se magnifican en las naciones en desarrollo. Alrededor de 1,4 mil millones de personas no tienen electricidad, en gran parte debido a los altos costos de las grandes plantas centralizadas e instalaciones de T & D (Rolland y Glania, 2011; Skumanich y Fulton, 2011). Un informe reciente encontró que el costo de la expansión de la red en los países en desarrollo oscila entre U.S. \$ 6.690 / km-\$ 19.070 / km, lo que no es una opción rentable para los servicios públicos teniendo en cuenta los perfiles de demanda de carga de muchas poblaciones

## Introduction

The 21<sup>st</sup> century promises many changes for energy industries, especially through the rise of renewable energy (RE) technologies and alternative distribution strategies. In developed nations, the growth in these technologies and the deregulation of power markets has resulted in conflicts between traditional large-scale generation interests and local generation resources (Kamenetz, 2009). As these changes take place, growing demand in many countries will necessitate additional generation capacities. Integrating both large-scale and small-scale intermittent RE resources into the grid to meet this demand will be difficult (Marsden, 2011).

A key aspect of integration involves the limits of the current transmission and distribution (T&D) infrastructure in many nations. National electricity grids will need vast new lines to move larger volumes of energy further distances. Expanding T&D infrastructure is generally an expensive route to increase supply. In developed nations, new lines may cost between US\$1 million and \$10 million per mile (Kamenetz, 2009). Additionally, current T&D losses of 7-10% result in lost energy production and further revenue losses, which only increase with grid expansion (Marsden, 2011; Kamenetz, 2009).

In developing nations these problems are magnified. An estimated 1.4 billion people are without electricity, due largely to the high costs of large centralized plants and T&D installations (Rolland and Glania, 2011; Skumanich and Fulton, 2011). A recent report found that the cost of grid expansion in developing countries ranges from US\$6,690/km-\$19,070/km, which is not a cost effective option for utilities considering the load demand profiles of many rural populations lacking electricity (Rolland and Glania, 2011). Furthermore, despite numerous promises to extend the grid by politicians looking to maintain support amongst impoverished communities, access to electricity remains elusive for many, especially those in rural

rurales que carecen de electricidad (Rolland y Glania, 2011). Por otra parte, a pesar de las numerosas promesas de ampliar la red por parte de los políticos que buscan mantener el apoyo entre las comunidades pobres, el acceso a la electricidad sigue siendo difícil de alcanzar para muchos, especialmente los de las zonas rurales. El Cuadro 1 muestra las tasas de electrificación en las regiones en desarrollo, lo que demuestra la necesidad de expansión de acceso a la red.

Si la extensión de la red sigue siendo nada más que una promesa política vacía, con poco o ningún cambio de los servicios públicos, una segunda opción es aumentar el acceso a los recursos de generación distribuida o Sistemas de Energía para el Hogar (SEH). Esto es a menudo la opción más viable para las poblaciones dispersas, o en las regiones montañosas de difícil acceso. El SEH utiliza típicamente un grupo electrógeno, que a menudo funcionan a diesel, pero recientemente los hogares han recurrido a tecnologías de energías renovables (ER) para diseñar sistemas independientes con energía solar, eólica o energía pico-hidroeléctrica (Rolland y Glania, 2011). Estas opciones, aunque socialmente menos costosas que la expansión de la red, tienden a ser costosas inversiones individuales y requieren una atención considerable a la combinación de la fuente de generación hasta la carga. En general, los hogares instalan aparatos de sistemas de alimentación de corriente continua de 100-200W con el fin de reducir los costos de capital.

Una alternativa, socialmente más barata que el acceso a la red y de forma individual más barato que SEH, es la micro-red. Skumanich and Fulton (2011: 211) define las micro-redes como “una red concentrada de aldeas o distritos a nivel de las fuentes de energía distribuida, almacenamiento de energía y cargas de hasta 500 Kw, que normalmente operan conectados a la red eléctrica. Las diversas fuentes de energía están unidos en su propia fuente de poder, se unen a la red en un solo punto de enganche común”. La ventaja de este enfoque es que permiten a las poblaciones locales aunar recursos para la compra de sistemas más grandes, y también para que puedan suministrar energía para las

regiones. Table 1 depicts electrification rates in developing regions, illustrating the need for expansion of grid access.

If extending the grid remains nothing more than an empty political promise with little or no return for utilities, a second option is to increase access to distributed generation resources or Energy Home Systems (EHS). This is often the most viable option for scattered populations, or in mountainous or rough terrain regions. EHS typically utilize a genset, often run on diesel, but recently households have turned to RE technologies to design stand-alone systems with solar, wind, or pico-hydro power (Rolland and Glania, 2011). These options, though socially less expensive than grid expansion, tend to be expensive individual investments and require considerable attention to matching the generation source to the load. Generally, households install 100-200W systems powering simple DC appliances in order to reduce capital costs.

An alternative, socially cheaper than grid access and individually cheaper than EHS, is the micro-grid. Skumanich and Fulton (2011: 211) define micro-grids as “a village- or district-level concentrated web of distributed energy sources, energy storage and loads of up to 500 kW that normally operate connected to an electricity grid. The various energy sources are tied together on their own feeder which is then linked to the grid at a single point of common coupling.” The advantage in such an approach is that they allow for local populations to pool resources to purchase larger systems, and they can also supply power for domestic, commercial, and public needs (Breyer *et al.*, 2011). Micro-grids can incorporate gensets, energy storage systems, and any locally available RE resources into a “peer-to-peer” transmission infrastructure that captures the reliability of the grid and the security of distributed generation (DG).

Currently, three viable applications for micro-grids offer the greatest potential for development. The first and most common



necesidades domésticas, comerciales y públicas (Breyer *et al.*, 2011). Las Micro-redes pueden incorporar grupos electrógenos, sistemas de almacenamiento de energía, y cualquier recurso renovable disponibles localmente en una infraestructura de transmisión entre pares que capture la fiabilidad de la red y la seguridad de la generación distribuida (DG)

En la actualidad, tres aplicaciones viables para micro-redes ofrecen el mayor potencial para el desarrollo. La primera y más común la aplicación de micro-redes es a través de desarrollo-o esquemas de electrificación rural-regional (Rolland and Glania, 2011). Varios estudios e informes han evaluado diversos aspectos tecnológicos, económicos y programáticos de micro-redes, y han encontrado que las micro-redes, en particular aquellos con sistemas híbridos, demuestran ventajas significativas sobre expansión de la red o sistemas independientes en términos de costo y satisfacción al usuario (Rolland y Glania, 2011; Skumanich y Fulton, 2011; Muñoz *et al.*, 2007 ; Vallvé *et al.*, 2001 ). Esto representa un enorme potencial para las inversiones públicas y comerciales. Breyer *et al.* (2011) estiman que de los 1,4 millones de personas que carecen de acceso a la electricidad, por medio de las micro-redes se podría proveer de electricidad a una tercera parte de ellos, lo que representa 16 GW de potencia. Skumanich y Fulton (2011) estiman que las micro-redes pueden suministrar energía a una proporción aún mayor: 735 millones de personas. En general, las micro-redes representan un mercado comercial de cerca de 1 mil millones de dólares U.S. (Business Wire, 2011).

Las instalaciones militares ofrecen una segunda opción para la aplicación de micro-redes. La seguridad energética y el suministro es un aspecto cada vez más importante de las operaciones militares, en particular para los puestos operativos o de campo que se realicen más adelante. Las micro-redes tienen tres ventajas principales (Schwerin, 2011). Integrado con tecnología inteligente, aumentan la eficiencia energética que reduce el consumo de combustible. El equipo utilizado es modular para un fácil transporte

application of micro-grids is through developing- or rural-region electrification schemes (Rolland and Glania, 2011). Several studies and reports have assessed various technological, economic, and programmatic aspects of micro-grids, and have found that micro-grids, particularly those using hybrid systems, demonstrate significant advantages over grid expansion or stand-alone systems in terms of cost and user satisfaction (Rolland and Glania, 2011; Skumanich and Fulton, 2011; Muñoz *et al.*, 2007; Vallvé *et al.*, 2001). This represents a massive potential for public and commercial investments. Breyer *et al.* (2011) estimate that of the 1.4 billion people who lack access to electricity, micro-grids are capable of supplying electricity to a third of them, representing 16 GW of power. Skumanich and Fulton (2011) estimate that micro-grids can supply power to an even higher proportion: 735 million people. Overall, micro-grids represent a commercial market of nearly US\$1 billion (Business Wire, 2011).

Military installations offer a second option for micro-grid application. Energy security and supply is an increasingly vital aspect of military operations, particularly for forward operating or field positions. Micro-grids have three principal advantages (Schwerin, 2011). Integrated with smart technology, they increase energy efficiency which reduces fuel consumption. The equipment used is modular for easy transport and interconnection, and scalable to quickly extend the grid for additional uses such as medical or communication units. The final option for utilizing micro-grids is as a platform to integrate smart-grid and distributed generation technologies as an alternative to traditional grid dependence in developed countries (Kamenetz, 2009). Using smart technology and local RE resources, community micro-grids obviate investments in large-scale, centralized generation plants and long distance T&D infrastructure.

This paper will focus on various considerations for micro-grids, especially as they apply to rural electrification schemes. The second



e interconexión, y escalable para que la red se extienda rápidamente a usos adicionales, como unidades médicas o de comunicación. La última opción para la utilización de micro-redes cumple las veces de plataforma para integrar las tecnologías de generación de redes inteligentes y distribuidas y es a la vez una alternativa a la dependencia de la red tradicional en los países desarrollados (Kamenetz, 2009). Gracias a la tecnología inteligente y los recursos locales de ER, la comunidad de micro-redes, obvian la infraestructura de TyD en inversiones en plantas de generación centralizada a gran escala y de larga distancia,

Este documento se centrará en varios aspectos de micro-redes, especialmente a medida que se aplican a los planes de electrificación rural. La segunda sección considera la tecnología de micro-redes y el diseño técnico, la tercera sección analizará los resultados económicos, y la última sección discutirá modelos y políticas operacionales para promover y mantener instalaciones de micro-redes. En definitiva, el documento demostrará que las micro-redes representan una solución probada para los problemas de desarrollo actuales de la infraestructura energética en los países en desarrollo y los países desarrollados.

## Diseño técnico

Las micro-redes se componen de tres subsistemas (Rolland y Glania, 2011). La producción incluye la fuente de energía. La distribución incluye el equipo utilizado para regular y transferir energía desde la fuente hasta el usuario final. Por último, el subsistema de la demanda incluye toda la medición y equipos de conexión requerido para conectar a los usuarios finales a la red. En primer lugar, se estudiarán los aspectos del subsistema de producción, que no se aplican exclusivamente a las micro-redes, seguido de la distribución única y subsistemas de la demanda que caracterizan a las micro-redes.

## Subsistema de Producción

La tecnología Micro-red comienza con la fuente de poder. Históricamente, la generación de

Este documento se centrará en varios aspectos de micro-redes, especialmente a medida que se aplican a los planes de electrificación rural.

*This paper will focus on various considerations for micro-grids, especially as they apply to rural electrification schemes.*

section considers micro-grid technology and technical design; the third section will explore economic performance; and the final section will discuss operational models and policies to promote and maintain micro-grid installations. Ultimately, the paper will demonstrate that micro-grids represent a proven solution to current developmental challenges to energy infrastructure in both developing and developed nations.

## Technical Design

Micro-grids consist of three subsystems (Rolland and Glania, 2011). Production includes the energy source. Distribution includes the equipment used to regulate and transfer energy from the source to the end users. Finally, the demand subsystem includes all the metering and connection equipment required to connect end users to the grid. First, the aspects of the production subsystem will be explored, which do not apply solely to micro-grids, followed by the unique distribution and demand subsystems that characterize micro-grids.

## Production Subsystem

Micro-grid technology begins with the source of power. Historically, energy generation favors large, centralized power plants which can achieve massive economies of scale. However, such an energy system also depends on a vast web of transmission wires and distribution equipment to move energy

energía favorece a las grandes centrales eléctricas centralizadas, que pueden alcanzar enormes economías de escala. Sin embargo, un sistema de energía de este tipo también depende de una vasta red de cables de transmisión y equipos de distribución para transportar la energía a través de largas distancias a los centros de carga. Cuando los patrones de asentamiento son bastante densos y los hogares tienen alta demanda de energía tal esquema es tecnológica y económicamente atractivo. Las poblaciones rurales, en particular en las regiones en desarrollo, tienen patrones de asentamiento de densidad más dispersos y bajos. El consumo de energía también tiende a ser limitado para la iluminación y el funcionamiento de algunos electrodomésticos. Como resultado, los costos de la construcción de la capacidad de energía adicional o la ampliación de la transmisión a las comunidades rurales por lo general son mayores que los beneficios que podrían obtenerse.

Los hogares en una comunidad sin acceso a la red deben basarse en los recursos energéticos disponibles en la localidad. Tradicionalmente, los generadores impulsados por combustibles fósiles han suministrado la mayor parte de la energía para las comunidades rurales. Esto se debe a los bajos costos iniciales de grupos electrógenos a diesel, la familiaridad con el funcionamiento del grupo electrógeno y la naturaleza despachable de servicio del grupo electrógeno (Rolland y Glania, 2011; Vallvé y *col.*, 2001). En comparación con los diseños independientes de sistemas de grupos electrógenos a diesel, la conexión a una micro-red mejora el rendimiento del generador. Los grupos electrógenos a diesel funcionan mal cuando se enfrentan a cargas volátiles, y la eficiencia del combustible disminuye drásticamente cuando el factor de carga cae por debajo de 50% de la capacidad total (Strauss y Engler, 2003; Nayar, 1995). Esto aumenta los costos de operación y complica el mantenimiento del grupo electrógeno. Al estar conectado a una micro-red, los hogares pueden utilizar un menor número de grupos electrógenos, y por lo tanto medirlos para que puedan operar a plena o casi el total de su capacidad.

over long distances to load centers. When settlement patterns are fairly dense and households have high energy demand such a scheme is technologically and economically attractive. Rural populations, particularly in developing regions, have more scattered, low density settlement patterns. Energy consumption also tends to be limited to lighting and operation of a few appliances. As a result, the costs of building additional power capacity or extending transmission to rural communities typically outweigh any benefits that might be gained.

Households in a community without grid access must then rely on locally available energy resources. Traditionally, fossil fuel-powered generator sets have supplied most of the power for rural communities. This is due to the low initial costs of diesel gensets, the familiarity with genset operation, and the dispatchable nature of genset service (Rolland and Glania, 2011; Vallvé *et al.*, 2001). Compared to stand-alone diesel genset system designs, connection to a micro-grid improves generator performance. Diesel gensets operate poorly when faced with volatile loads, and fuel efficiency decreases drastically when the load factor falls below 50% of total capacity (Strauss and Engler, 2003; Nayar, 1995). This increases operation costs and complicates genset maintenance. When tied to a micro-grid, households can use fewer gensets, and therefore size them so they can operate at or near full capacity.

Despite improving genset operation with respect to load matching, several key disadvantages remain with genset-only micro-grids. First, a tradeoff between nameplate capacity and peak demand exists: Either gensets must be oversized to meet peak loads or else demand must be curtailed. Second, restricted access to the town often limits the availability of fuel, forcing intermittent operation of the system (Vallvé *et al.*, 2001). Finally, frequent maintenance and replacement are also severe limitations of diesel genset systems.

A pesar de la mejora de la operación del grupo electrógeno con respecto a la carga, se evidencian varias desventajas importantes en micro-redes con grupo electrógeno. En primer lugar, existe un compromiso entre la capacidad nominal y la demanda máxima: Ninguno de los grupos electrógenos deben ser de gran tamaño para satisfacer picos de demanda o caso contrario se debería limitar la demanda excedente. En segundo lugar, el acceso restringido a la ciudad a menudo limita la disponibilidad de combustible, lo que obliga el funcionamiento intermitente del sistema (Vallvé *et al.*, 2001). Por último, el mantenimiento y el reemplazo frecuente son también graves limitaciones de los sistemas de grupos electrógenos a diesel. En estudio de caso de un sistema de micro-red en Bolivia se encontró que los generadores suministraron energía únicamente por 6 horas al día para mantener altos factores de carga, por desgracia, esto debido al mal funcionamiento del generador, apagones frecuentes y reparaciones dejado a muchos participantes locales descontentos con el servicio (Vallvé *et al.*, 2001). Aunque es bastante común, los grupos electrógenos a diesel, experimentan numerosas deficiencias, aun cuando sean utilizados de manera independiente en los sistemas conectados de micro-red.

El utilizar la tecnología de ER como la solar fotovoltaica, eólica, o energía hidráulica en lugar de grupos electrógenos soluciona varios de estos problemas, pero a menudo conduce a varios otros. Puesto que las tecnologías de ER utilizan sólo recursos disponibles a nivel local, que no dependen de la entrega de los suministros de combustible adicionales. Tras la instalación, los sistemas de ER teóricamente tienen suministros de combustible suficientes a mano para operar durante la duración de su vida útil. Además, a menudo requieren mucho menos mantenimiento que los grupos electrógenos, que tienden a romperse con frecuencia. Por último, siempre y cuando la comunidad haya medido adecuadamente el tamaño del sistema (y, por supuesto, los insumos suficientes de sol, viento o agua existente), el sistema suministrará de manera total la energía que se requiera para cumplir con la demanda en la micro-red.

A case study of such a micro-grid system in Bolivia found that gensets supplied power for only 6 hours per day to maintain high load factors; unfortunately, due to generator malfunctions, frequent blackouts and repairs left many local participants dissatisfied with the service (Vallvé *et al.*, 2001). Though quite common, diesel gensets experience numerous shortcomings whether used in stand-alone or micro-grid connected systems.

Utilizing RE technology such as solar PV, wind, or hydropower instead of gensets addresses several of these problems but often leads to several others. Since RE technologies use only locally available resources, they do not depend on delivery of additional fuel supplies. Upon installation, RE systems theoretically have sufficient fuel supplies at hand to operate for the duration of their lifetime. Furthermore, they often require far less maintenance than gensets, which tend to break down frequently. Finally, as long as the community has appropriately sized the system (and, of course, sufficient inputs of sun, wind, or water exist), the system will fully supply as much energy as required to meet the demand load on the micro-grid.

Of course, the limit to such a design is primarily the non-dispatchable nature of the energy source. Both the sun and wind are intermittent, and even hydropower depends on seasonal flows of water. Therefore, RE technology is limited by its quality of service: they cannot provide energy on demand (Rolland and Glania, 2011). System design can mitigate this problem by combining available RE technologies or by incorporating some sort of energy storage system (ESS), such as a battery bank. Unfortunately, both options complicate system design and integration, and they require oversizing installed capacity or using advanced supervisory controls to account for intermittency (Rolland and Glania, 2011; Strauss and Engler, 2003). Ultimately, energy shortages may still result if several days go by without sustained sun or wind to power the system or charge the batteries. One

Por supuesto, el límite para este tipo de diseño es sobre todo la naturaleza no gestionable de la fuente de energía. Tanto el sol como el viento son intermitentes, e incluso la energía hidroeléctrica depende de los flujos estacionales del agua. Por lo tanto, la tecnología de ER está limitada por su calidad de servicio: no pueden proporcionar energía a la carta (Rolland y Glania, 2011). El diseño del sistema puede mitigar este problema mediante la combinación disponible de tecnología de ER mediante la incorporación de algún tipo de sistema de almacenamiento de energía (ESS), tal como un banco de baterías. Desafortunadamente, ambas opciones complican el diseño de sistemas e integración, y requieren sobredimensionar la capacidad instalada o el uso de los controles de supervisión avanzada para dar cuenta de la intermitencia (Rolland y Glania, 2011; Strauss y Engler, 2003). En última instancia, se puede dar la escasez de energía aún si pasan varios días sin que haya sol o energía eólica para alimentar el sistema o cargar de las baterías. Una opción, sin embargo, combina grupos electrógenos a diesel y la tecnología de ER para proporcionar energía al tiempo que elimina sus respectivas debilidades.

Los sistemas de energía híbridos tienen varias ventajas sobre los sistemas de grupos electrógenos o aquellos únicamente de ER. En primer lugar, se reduce el consumo de combustible del grupo electrógeno y se bajan los costos de operación y mantenimiento, y se adaptan también a un crecimiento en el consumo de energía al tiempo que proporciona energía eléctrica confiable, reduciendo las fluctuaciones de energía debido a la intermitencia de la ER (Muñoz *et al.*, 2007). Además, se reducen el tamaño del sistema de ER y el SEE, se ejecuta el generador solamente durante períodos de carga óptimas, y se minimizan los costos generales del sistema (que se discutirá con más detalle en la siguiente sección) (Breyer *et al.*, 2011). Por supuesto, los sistemas híbridos requerirán más equipamiento y capital que los sistemas de ER o grupo electrógeno, pero si existe una demanda suficiente para una micro-red tiende a ser la opción tecnológicamente (y económicamente) más ventajosa (Rolland y Glania, 2011).

option, though, combines both diesel gensets and RE technology to provide power while eliminating their respective weaknesses.

Hybrid energy systems have several distinct advantages over genset- or RE-only systems. Primarily, they reduce genset fuel consumption and lower operation and maintenance costs, and they also adapt to growth in energy consumption while providing reliable electrical power by reducing energy fluctuations due to RE intermittency (Muñoz *et al.*, 2007). Additionally, they reduce the size of the RE system and the ESS, run the genset during optimal load periods only, and minimize overall system costs (which will be discussed further in the next section) (Breyer *et al.*, 2011). Of course, hybrid systems will require more equipment and capital than genset or RE systems, but if sufficient demand exists for a micro-grid it tends to be the most technologically (and economically) advantageous option (Rolland and Glania, 2011).

## Distribution and Demand Subsystems

In essence, micro-grids with centralized generation are identical to larger national or regional grids, but are restricted in scale and utilize only locally generated energy. They capture several of the key benefits of larger grids as well: reliability, centralized maintenance, and economies of scale (Breyer *et al.*, 2011). Hybrid micro-grids also improve energy storage and backup due to diversified sources. However, the use of DG energy sources serves as an advantage over normal grids. Micro-grids can maintain power with no or few disruptions, even when regional grids experience large-scale supply or transmission interruptions or shortages (Skumanich and Fulton, 2011). Another relatively new grid design interconnects distributed household generators rather than building centralized energy production sites. This strategy can improve reliability on the micro-grid through bi-directional power exchange among households, especially when incorporating RE technology (Strauss and Engler, 2003).



## Distribución y demanda de subsistemas

En esencia, las micro-redes con generación centralizada son idénticas a las redes nacionales o regionales más grandes, pero están limitadas en escala y utilizan sólo la energía generada localmente. También capturan varias de las principales ventajas de las redes más grandes: fiabilidad, mantenimiento centralizado, y las economías de escala (Breyer *et al.*, 2011). Las micro-redes híbridas también mejoran el almacenamiento de energía y respaldo debido a la diversificación de las fuentes. Sin embargo, el uso de fuentes de energía DG sirve como una ventaja sobre las redes normales. Las micro-redes pueden mantener la energía con pocas o ninguna interrupción, incluso cuando las redes regionales experimentan interrupciones de suministro o transmisión o escasez (Skumanich y Fulton, 2011) a gran escala. Otro diseño relativamente nuevo de la red, interconecta generadores domésticos repartidos en lugar de la construcción de plantas de producción de energía centralizada. Esta estrategia puede mejorar la fiabilidad de la micro-red mediante el intercambio bidireccional de energía en los hogares, sobre todo al incorporar la tecnología de RE (Strauss y Engler, 2003).

Sin embargo, varios obstáculos técnicos complican la instalación y mantenimiento de la micro-red. En primer lugar, las similitudes entre micro-redes híbridas y los sistemas de la red a gran escala pueden incentivar el consumo alto o ineficiente de energía de los usuarios finales (Muñoz *et al.*, 2007). Las micro-redes están aisladas, sistemas de suministro con restricciones sin un operador del sistema o copia de seguridad de emergencia más allá de un ESS o generador asignable. La tecnología de transmisión no puede sustituir a la conducta conservadora de los usuarios durante los períodos pico. Para ello es necesario un sistema de gestión de la carga inicial, que es a la vez conocido y aceptado por los usuarios finales con el fin de evitar que se exceda la fuente de alimentación en la micro-red (Muñoz *et al.*, 2007). En este trabajo retomará la formación de estos sistemas en la sección 4.

Several technical obstacles, however, complicate micro-grid installation and maintenance. First, the similarities between hybrid micro-grids and large-scale grid systems may encourage high or inefficient energy consumption by end users (Muñoz *et al.*, 2007). Micro-grids are isolated, supply-constrained systems without a system operator or emergency backup beyond an ESS or dispatchable generator. Transmission technology cannot substitute for conservative user behavior during peak periods. This requires an initial load management scheme which is both known and agreed to by end users in order to prevent exceeding power supply on the micro-grid (Muñoz *et al.*, 2007). This paper will return to the formation of such schemes in section 4.

In order to monitor and measure energy consumption, micro-grids also depend upon some form of monitoring equipment which complicates system design and increases costs. However, without monitoring and regulating equipment, it is impossible to assess the effectiveness of the distribution and demand subsystems, and later to form appropriate service fees to pay for system operation. Furthermore, micro-grid distribution reduces maintenance of the production subsystem, but requires increased maintenance and policing of the distribution subsystem. This was a key problem, for example, for a Nepalese micro-grid that relied upon a stand-alone micro-hydropower

En esencia, las micro-redes con generación centralizada son idénticas a las redes nacionales o regionales más grandes...

*In essence, micro-grids with centralized generation are identical to larger national or regional grids..*

Con el fin de controlar y medir el consumo de energía, las micro-redes también dependen de algún tipo de equipo de monitoreo que complica el diseño del sistema y aumenta los costos. Sin embargo, sin vigilar y regular los equipos, es imposible evaluar la eficacia de la distribución y los subsistemas de la demanda, para más tarde formular los costos por servicio apropiados para pagar por la operación del sistema. Además, la distribución de micro-redes reduce el mantenimiento del subsistema de producción, pero requiere un mayor mantenimiento y vigilancia del subsistema de distribución. Este fue un problema clave, por ejemplo, para una micro-red nepalí que se basó en una planta micro-hidroeléctrica independiente (Gurung *et al.*, 2011). Otros problemas identificados en este estudio de caso incluyen interruptores de control de carga defectuosos y normas de gestión de carga inadecuados que dieron lugar a un consumo excesivo y escasez de energía.

Por último, las consideraciones de diseño de la micro-red pueden facilitar la futura interconexión con las redes regionales más grandes. Muchas cargas en las comunidades rurales son para aplicaciones en fases pequeñas e individuales (Vallvé y *col.*, 2001). Normalmente, las redes regionales utilizan cables trifásicos, y por lo tanto son incompatibles con el cableado de una sola fase típica utilizada en una micro-red. El acceso a la red futura es una consideración primordial del diseño de la micro-red ya que la instalación y operación exitosa puede incentivar utilidades para extender el acceso a la red a la comunidad. Los desarrolladores de proyectos aplicaron una solución única a este problema en el estudio realizado por Muñoz *et al.* (2007) para dos instalaciones de micro-red marroquíes. Los desarrolladores utilizan líneas de cuatro hilos, juntando tres de ellas para actuar como un cable de fase única. Con el fin de crear un sistema de distribución de redes compatibles, simplemente se tiene que convertir el cable de una sola fase a un trifásico de cuatro hilos mediante la eliminación del enlace del cable. El sistema también se ha diseñado con cables de puesta a tierra IEC estándar, otro requisito acceso a la red.

plant (Gurung *et al.*, 2011). Other problems identified in that case study included faulty load control switches and inadequate load management rules which led to excessive consumption and energy shortages.

Finally, micro-grid design considerations may ease future interconnection with larger regional grids. Many loads in rural communities are for small, single phase applications (Vallvé *et al.*, 2001). Normally, regional grids utilize three-phase wires, and therefore are incompatible with typical single-phase wiring used in a micro-grid. Future grid access is a paramount consideration of micro-grid design since successful installation and operation may incentivize utilities to extend grid access to the community. Project developers applied a unique solution to this conundrum in the study conducted by Muñoz *et al.* (2007) for two Moroccan micro-grid installations. The developers used four-wire lines, bonding three together to act as a single-phase wire. In order to create a grid compatible distribution system, one simply has to convert the single-phase wire to a three-phase four-wire by removing the wire bond. The system was also designed with IEC standard grounding wires, another grid access requirement.

Micro-grids benefit from the long historical experience with large-scale grids. Although incorporating new sources of energy and utilizing different design scales, the goals and operation of micro-grids are generally similar to large-scale grids: provide reliable, high quality electricity service at the lowest cost possible. As a report issued by the Alliance for Rural Electrification (ARE) notes, “the bottlenecks for the sustainable success of mini-grids are not the technologies, but financing, management, business models, maintenance, sustainable operations, and socio-economic conditions” (Rolland and Glania, 2011: 11). The following two sections explore these economic and operational aspects in more detail.

Las micro-redes se benefician de la larga experiencia histórica con las redes a gran escala. A pesar de la incorporación de nuevas fuentes de energía y la utilización de diferentes escalas de diseño, los objetivos y el funcionamiento de las micro-redes son generalmente similares a las redes a gran escala: proveer servicio eléctrico de calidad y confiable y al más bajo costo posible. En un informe publicado por la Alianza para la Electrificación Rural (ARE) señala que “los cuellos de botella para el éxito sostenible de mini-redes no son las tecnologías, pero la financiamiento, la gestión, modelos de negocio, mantenimiento, operaciones sostenibles, y las condiciones socio-económicas” (Rolland y Glania de 2011: 11). Las dos secciones siguientes exploran estos aspectos económicos y operativos en más detalle.

### Economía de la Micro-red

Aunque el diseño técnico de la micro-red implica un considerable número de diferentes factores, el factor más importante que influye en el diseño tiene que ver con la evaluación económica de las diferentes tecnologías. El costo de la instalación, el costo de operación y mantenimiento, costos de reemplazo, costos de financiamiento y otros factores en última instancia, limitar las opciones disponibles para las regiones que deseen instalar sistemas de micro-red. El objetivo no es sólo para el suministro, de un servicio continuo y fiable, sino también de hacerlo a un costo accesible para los usuarios finales. Para empezar, es útil para analizar la base económica para invertir en un micro-red sobre extensión de la red o sistemas independientes.

Al igual que con el diseño técnico, el principal factor económico que justifique los sistemas de micro-red es la distancia. Como se señaló anteriormente, dependiendo del país y de la capacidad de energía, diferentes estudios demostraron que los costos de instalación de TyD fueron de \$ 7000 - \$ 19,000 / km, \$ 28.177 - \$ 151.956 / km, o incluso hasta \$ 10 millones / milla (Breyer *et al.*, 2011; Kamenetz, 2011; Grupo del Banco Mundial, 2011).

### Micro-grid Economics

Although micro-grid technical design involves a considerable number of different factors, the most important factor influencing design concerns the economic assessment of different technologies. The cost of installation, the cost of operation and maintenance, replacement costs, financing costs, and other factors ultimately limit the options available to regions looking to install micro-grid systems. The goal is not only to supply reliable, continuous service, but also to do so at an affordable cost for the end users. To begin, it is useful to analyze the economic basis for investing in a micro-grid over grid extension or stand-alone systems.

As with technical design, the chief economic factor justifying micro-grid systems is distance. As noted earlier, depending on the country and the power capacity, different studies report T&D installation costs as being \$7,000-\$19,000/km, \$28,177-\$151,956/km, or even as high as \$10 million/mile (Breyer *et al.*, 2011; Kamenetz, 2011; World Bank Group, 2011).

However, if the demand in a town is sufficiently large or the site is close to a grid interconnection site, the return on grid extension more than pays for itself. What distance, then, is too far? How large is sufficient demand?

An ESMAP technical paper published by the World Bank Group (2011) compared the transmission and distribution costs of different DG and conventional technologies on large-scale and micro-grids. It found the average transmission cost per kWh on large grids to be between .25-.50¢, while distribution costs on a micro-grid for the same kWh were between 1-7¢. Table 2 depicts the transmission and distribution for different DG technologies on large-scale grids and micro-grids. These numbers were determined using both the installed system capacity as well as the system capacity factor. Clearly, in terms of cost-effectiveness, large-scale grids can



Sin embargo, si la demanda de un pueblo es lo suficientemente grande o el emplazamiento está cerca de un sitio de interconexión de redes, el retorno de la extensión de la red se paga por sí mismo. ¿Qué distancia, entonces, es demasiado lejos? ¿Qué tan grande es la demanda suficiente?

Un documento técnico ESMAP publicado por el Grupo del Banco Mundial (2011) comparó los costos de transmisión y distribución de diferentes DG y tecnologías convencionales y de micro-redes a gran escala. Se encontró que el costo promedio de la transmisión por kWh en las grandes redes debe estar entre 0,25 a 0,50 ¢, mientras que los costos de distribución en una micro-red para el mismo kWh estaban entre 1-7 ¢. El Cuadro 2 muestra la transmisión y la distribución de las diferentes tecnologías DG de redes a gran escala y micro-redes. Estos números se determinaron utilizando tanto la capacidad del sistema instalado, así como el factor de capacidad del sistema. Claramente, en términos de costo-eficacia, las redes a gran escala pueden entregar energía mucho más barata que las micro-redes, debido a las enormes economías de escala a partir de la producción de energía y la transmisión centralizada. Sin embargo, en la medida que la distancia de los aumentos de centro de carga se incrementa, el costo de la entrega de potencia se eleva drásticamente. Esto representa una pérdida considerable tanto a la utilidad y también a los clientes de la empresa de servicios públicos que se enfrentará a mayores costos de T y D en sus facturas mensuales a pagar por la expansión de la red. Económicamente hablando, en algún momento los rendimientos no son suficientes para justificar la expansión de la red, y en ese momento las micro-redes se convierten en la opción más atractiva.

Por supuesto, también hay un límite superior a las micro-redes rentables, en cuyo punto el SEH independiente se ha convertido en la alternativa económicamente más viable. Esto depende del costo de la tecnología de generación y sus componentes de balanza de sistema (BOS), la densidad de población del lugar, la disponibilidad de los recursos DG, y el tamaño de la carga (Rolland y Glania, 2011).

deliver much cheaper energy than micro-grids due to the massive economies of scale from centralized power production and transmission. However, as the distance of the load center increases, the cost of delivering power rises drastically. This represents a considerable loss to both the utility and also to the utility's customers who will face higher T&D costs on their monthly bills to pay for the grid expansion. Economically speaking, at some point the returns are simply not sufficient to justify grid expansion, at which point micro-grids become the most attractive option.

Of course, there is also an upper limit to cost-effective micro-grids, at which point stand-alone EHS become the most economically feasible alternative. This depends on the cost of the generation technology and its balance-of-system (BOS) components, the population density of the site, the available DG resources, and the size of the load (Rolland and Glania, 2011). EHS can minimize the distribution, conditioning, and regulation equipment necessary to manage a grid of any size, which tends to reduce system costs. However, EHS cannot take advantage of economies of scale, nor can it utilize any energy surpluses produced at a given point in time. This increases system costs, and EHS only becomes economically preferable when distance precludes the grid options.

Upon determining that a micro-grid is the lowest cost option, another series of questions arise: the economically optimal design of production, distribution, and demand subsystems. These aspects mirror the technical considerations previously discussed. Production typically takes the form of diesel gensets, RE stand-alone systems, or a hybrid system combining the genset with various RE technologies. The genset option tends to be the lowest initial cost, around \$400/kW; however, it typically has much higher fuel and operating costs over its lifetime making it the most expensive lifecycle choice (Rolland and Glania, 2011).

SEH puede reducir al mínimo la distribución, acondicionado, y el equipo necesario para administrar una red de cualquier tamaño, que tiende a reducir los costes del sistema de regulación. Sin embargo, SEH no puede aprovechar las economías de escala, ni puede utilizar los excedentes de energía producida en un punto dado en el tiempo. Esto aumenta los costos del sistema, y que SEH sea económicamente preferible cuando la distancia impide las opciones de la red.

Al determinar que una micro-red es la opción más económica, surgen otra serie de preguntas: el diseño económicamente óptimo de la producción, distribución y subsistemas de la demanda. Estos aspectos reflejan las consideraciones técnicas descritas anteriormente. La producción generalmente toma la forma de grupos electrógenos a diesel, sistemas independientes de ER, o un sistema híbrido que combina el grupo electrógeno con diversas tecnologías de energías renovables. La opción de grupo electrógeno tiende a ser el costo inicial más bajo, alrededor de \$ 400/kW, sin embargo, por lo general tiene mucho mayor combustible y costos de operación durante su vida útil por lo que es la elección del ciclo de vida más caro (Rolland y Glania, 2011).

Por otro lado, los sistemas independientes de ER cuestan más al principio, pero tienden a tener los costes operativos más bajos debido a que la fuente de combustible está disponible localmente y casi siempre gratis. Los sistemas fotovoltaicos pueden costar tanto como \$ 2,822 / kW, el viento es \$2,120/kW, y la batería y el equipo convertidor puede ser de \$ 225/kW y \$ 1,445 / kW, respectivamente (Rolland y Glania, 2011). Las plantas micro-hidroeléctrica son también bastante caras, a \$1.790 dólares / kW, pero a diferencia de otras opciones de ER esta normalmente no necesitan el almacenamiento de energía o equipos de aire acondicionado en zonas con corrientes de agua suficientes, y solo puede ser más competitivos que cualquier otra fuente de generación (Gurung, *et al.*, 2011).

La última opción, un sistema híbrido, demuestra constantemente ser la opción

On the other hand, RE stand-alone systems cost the most initially, but tend to have the lowest operating costs because the fuel source is locally available and almost always free. PV can cost as much as \$2,822/kW, wind is \$2,120/kW, and the battery and converter equipment can be \$225/kW and \$1,445/kW, respectively (Rolland and Glania, 2011). Micro-hydropower is also quite expensive at \$1,790/kW, but unlike other RE options it does not typically need energy storage or conditioning equipment in areas with sufficient water flows, and alone it can be more cost competitive than any other generation source (Gurung, *et al.*, 2011).

The final option, a hybrid system, consistently proves to be the most cost-effective option over the lifetime of the system excluding hydro (Rolland and Glania, 2011; Muñoz *et al.*, 2007). Due to the combination of RE and genset DG sources, hybrids also have high initial costs. Unlike RE-only systems, though, they can considerably reduce the size of the RE system and any ESS with the inclusion of the genset, which results in a relatively drastic reduction in costs. Furthermore, the RE system, by typically supplying from 75-99% of the totally load, allows for the optimal dispatch of the genset, reducing maintenance and fuel costs and increasing the time before replacement (Skumanich and Fulton, 2011; Muñoz *et al.*, 2007). The levelized cost of energy (LCOE) of hybrid micro-grids is lower than LCOE of diesel-only systems; furthermore, cost per user serviced can be minimized using hybrid systems (Rolland and Glania, 2011; Vallvé *et al.*, 2001).

The cost of installation and maintenance of the distribution subsystem tends to be second only to the capital cost of the RE generation system, especially if the micro-grid is designed to be compatible with a larger grid in the future (Muñoz *et al.*, 2007). These costs range from €600 up to €1000 per household (US\$795 to US\$1,325), which approximately equal the average price of grid connection at the upper limit (Muñoz *et al.*, 2007). Another key cost is micro-grid maintenance and replacement. A technically skilled local

más rentable durante la vida útil del sistema sin contar la hidráulica (Rolland y Glania, 2011; Muñoz *et al.*, 2007). Debido a la combinación de RE y grupo electrógeno DG fuentes, los híbridos también tienen altos costos iniciales. A diferencia de RE-sólo los sistemas, sin embargo, que pueden reducir considerablemente el tamaño del sistema de RE y cualquier ESS con la inclusión del grupo electrógeno, que se traduce en una reducción relativamente drástica de los costes. Por otra parte, el sistema RE, por lo general el suministro de 75 a 99% de la carga totalmente, permite el despacho óptimo del grupo electrógeno, reduciendo el mantenimiento y los costes de combustible y aumentar el tiempo antes de la sustitución (Skumanich y Fulton, 2011; Muñoz *et al.*, 2007). El costo nivelado de energía (LCOE) de micro-redes híbridas es inferior LCOE de sólo diesel sistemas, por otro lado, el costo por usuario atendido puede minimizar el uso de sistemas híbridos (Rolland y Glania, 2011; Vallvé *et al.*, 2001).

El coste de la instalación y el mantenimiento del subsistema de distribución tiende a ser segundo sólo para el costo de capital del sistema de generación de RE, especialmente si la micro-red está diseñada para ser compatible con una rejilla más grande en el futuro (Muñoz *et al.*, 2007). Estos costos van desde € 600 hasta € 1.000 por hogar (U.S. \$ 795 a U.S. \$ 1.325), que aproximadamente igual al precio medio de conexión a la red en el límite superior (Muñoz *et al.*, 2007). Otro costo importante es el mantenimiento y la sustitución de la micro-red. Una mano de obra local, técnicamente calificada con acceso a las herramientas y equipos apropiados puede reducir considerablemente estos costos, pero sin el apoyo adecuado del coste de mantenimiento y la fiabilidad de la red puede aumentar considerablemente. Por ejemplo, Muñoz *et al.* (2007) encontró que, a falta de conocimientos técnicos locales, se puede conseguir apoyo técnico externo que puede llegar hasta 100.000 € (U.S. \$ 132.500) para justificar el que una empresa o grupo mantenga el costo del personal necesario y el transporte.

labor force with access to the appropriate tools and equipment may reduce these costs considerably, but without adequate support the cost of grid maintenance and reliability may rise substantially. For example, Muñoz *et al.* (2007) found that, in the absence of local technical expertise, outside technical support may run as high €100,000 (US\$132,500) to justify a company or group maintaining the cost of the requisite staff and transportation.

Overall, the cost of hybrid micro-grids may run as high as US\$600,000, yet they are still the most viable electrification option for many communities, both technically and economically. The considerable evidence demonstrating the economic advantages of hybrid micro-grids requires an exploration into the barriers to their expansion and the most effective forms of policy support. As mentioned, the initial capital costs of a hybrid micro-grid may be exorbitant, even for a community that pools its resources to invest in one. Financing can provide the necessary funds, but it often increases the overall costs of the project and reduces the benefits and return on the investment. O&M&M costs also complicate micro-grid maintenance over long periods. All require sustainable, long-term design and management schemes to succeed (Rolland and Glania, 2011). The local operational scheme, the structure of the energy service model and the design of policies and programs all play critical roles, and each will be discussed in the following section.

## **Institutional Design and Support**

At this point it is beneficial to review the barriers to micro-grid expansion and operation. As noted, micro-grids, especially those operated with hybrid systems, have high initial capital costs; therefore, sources of investment and financing are integral to successful micro-grid development. Second, successful long-term operation and maintenance depend on the structure of organizations or institutions to oversee the micro-grid. In many cases, institutional or

En general, el costo de las micro-redes híbridas puede llegar hasta costos cerca de 600.000 dólares U.S., sin embargo, siguen siendo la opción más viable para la electrificación de muchas comunidades, tanto técnica como económicamente. La evidencia considerable que demuestra las ventajas económicas de las micro-redes híbridas requiere una exploración de las barreras para su expansión y las formas más eficaces de apoyo a la política. Como se ha mencionado, los costos de capital inicial de una micro-red híbrida pueden ser exorbitantes, incluso para una comunidad que aúna sus recursos para invertir en uno. El financiamiento puede proporcionar los fondos necesarios, pero a menudo aumenta los costos generales del proyecto y reduce los beneficios y el rendimiento de la inversión. Costos de O & M & M también complican el mantenimiento la micro-red durante largos períodos. Todos requieren diseños sostenibles, a largo plazo y planes de gestión para tener éxito (Rolland y Glania, 2011). El esquema de funcionamiento local, la estructura del modelo de servicio de energía y el diseño de políticas y programas, juegan un papel crítico, y cada uno será discutido en la siguiente sección.

### **Diseño y Apoyo Institucional**

En este punto es beneficioso revisar las barreras a la expansión y operación de la micro-red. Como se ha señalado, las micro-redes, especialmente los operados con sistemas híbridos, tienen altos costos iniciales de capital, por lo que las fuentes de inversión y financiamiento son esenciales para el desarrollo de micro-red exitosa. Segundo, la operación y mantenimiento exitosa a largo plazo depende de la estructura de las organizaciones o instituciones que supervisan la micro-red. En muchos casos, los límites institucionales o financieros crean espacio para el apoyo del gobierno o de la innovación comercial para superar los obstáculos, algunos modelos operacionales y políticas que desarrollen y sostengan una micro-red.

financial limits create room for government support or commercial innovation to overcome obstacles. Several operational models and policies apply in developing and sustaining a micro-grid.

### **Operational Models**

Program development, operation, and maintenance require a strong organizational structure. Regardless of model design, the success of a micro-grid project depends on several key structural facets. First, community involvement is necessary for successful operation (Rolland and Glania, 2011; Skumanich and Fulton, 2011). Without the cooperation of community members on load management and financing, few projects will maintain long-term support. Also, ownership and maintenance responsibilities must be clearly defined (Rolland and Glania, 2011). Without identifying the groups or individuals responsible for operating and maintaining the micro-grid, the project will lack the technical and financial support necessary to sustain it. Ownership and operation may take one of several forms, however: a community-based, private-sector based, utility-based, or hybrid partnership-based model (World Bank, 2008).

Community-based models encourage communities to take on ownership and operation responsibilities exclusively. These responsibilities include setting and collecting fees, establishing rules and management schemes, and making grid repairs. This model tends to be the most common model due to the historical lack of interest in rural communities from the private sector or utilities (World Bank, 2008). Because those who own the micro-grid also directly receive the benefits it provides, strong incentives exist to maintain reliable, long-term service. Typically, rural communities have strong organizational institutions which are capable of building support for and maintaining the grid. Additionally, this model promotes local labor and economic development.



## Modelos Operacionales

El desarrollo del programa, la operación y mantenimiento requieren una fuerte estructura organizativa. Independientemente del diseño del modelo, el éxito de un proyecto de micro-red depende de varias facetas estructurales clave. En primer lugar, la participación comunitaria es necesaria para la operación exitosa (Rolland y Glania, 2011; Skumanich y Fulton, 2011). Sin la cooperación de los miembros de la comunidad sobre la gestión de la carga y financiamiento, se logrará que sólo algunos proyectos mantengan el apoyo a largo plazo. Además, las responsabilidades de la propiedad y el mantenimiento deben estar claramente definidas (Rolland y Glania, 2011). Sin la identificación de los grupos o personas responsables de la operación y mantenimiento de la micro-red, el proyecto carece del apoyo técnico y financiero necesario para sostenerlo. Propiedad y operación puede tomar una de varias formas, sin embargo, un modelo basado en la asociación basada en la comunidad, el sector privado basado en la utilidad o híbrido (Banco Mundial, 2008).

Los modelos basados en la comunidad alientan a las comunidades a asumir la propiedad y operación de las responsabilidades exclusivamente. Estas responsabilidades incluyen la fijación y cobro de tasas, establecer normas y sistemas de gestión, y las reparaciones de la red. Este modelo tiende a ser el modelo más común debido a la histórica falta de interés en las comunidades rurales del sector privado o de los servicios públicos (Banco Mundial, 2008). Porque aquellos que son dueños de la micro-red también reciben directamente los beneficios que ésta proporciona, existen fuertes incentivos para mantener un servicio confiable y de largo plazo. Por lo general, las comunidades rurales tienen instituciones organizativas fuertes que son capaces de construir apoyo y mantenimiento de la red. Además, este modelo promueve la mano de obra local y el desarrollo económico.

Por desgracia, un modelo basado en la comunidad depende de una reserva local adecuada de conocimientos técnicos y de negocio para hacer

Unfortunadamente, a community-based model depends on an adequate local reserve of technical and business expertise to deal with complex design and maintenance problems associated with micro-grids. The lack of this expertise partially explains the prevalence of diesel-only micro-grid designs, since diesel gensets tend to be the only technology with which local technicians have at least some familiarity (Vallvé *et al.*, 2001). Otherwise, without adequate outside assistance or training, hybrid micro-grids suffer from numerous technical failures or lack of capital for upgrades or repairs (Rolland and Glania, 2011).

Furthermore, community organizations may not adequately enforce rules or monitor end user behavior (Rolland and Glania, 2011). This may result in excessive energy consumption, biased or preferential treatment of some community members over others, or failure to collect adequate payment for use. A micro-hydropower micro-grid system in Nepal distributing power to the rural villages of Sikles, Parche, and Khilang experienced all of these problems to varying degrees (Gurung *et al.*, 2011). The community management lacked funds for repairs for over a year due to lax fee collection. The enforcement of “police switches” limiting energy consumption failed because the group responsible for monitoring treated members of the same village sympathetically, allowing those households to consume excessive energy. Also, after micro-grid extension to Khilang, demand exceeded supply due to the widespread use of electric cookers.

Because of these limitations, especially those related to financing and technical assistance, it may be preferable for a private or public entity to participate. The private sector-based model involves the participation of a private company to install, own, and manage the micro-grid system (World Bank, 2008). This model has significant advantages in that it often improves the financial flows, involves more reliable technical expertise, and provides the lowest-cost electricity of any other system. Furthermore, private

frente a diseño complejo y los problemas de mantenimiento asociados con micro-redes. La falta de esta experiencia explica en parte la prevalencia de sólo diesel diseños micro-red, ya que los grupos electrógenos a diesel tienden a ser la única tecnología con la que los técnicos locales tienen al menos cierta familiaridad (Vallvé *et al.*, 2001). De lo contrario, sin ayuda externa adecuada o una formación, las micro-redes híbridas sufren de numerosas fallas técnicas o la falta de capital para las mejoras o reparaciones (Rolland y Glania, 2011).

Por otra parte, las organizaciones de la comunidad no pueden cumplir adecuadamente las normas o monitorear el comportamiento del usuario final (Rolland y Glania, 2011). Esto puede resultar en un consumo excesivo de energía, parciales o de trato preferencial de algunos miembros de la comunidad sobre los demás, o la no percepción de un pago adecuado para su uso. Un sistema de micro-red de micro-hidroeléctrica en Nepal de distribución de energía a las aldeas rurales de Sikles, Parche y Khilang experimentó todos estos problemas en diversos grados (Gurung *et al.*, 2011). La gestión de la comunidad carecía de fondos para reparaciones por más de un año debido a la recaudación de tarifas laxas. La aplicación de los “cambios en la policía” limitando el consumo de energía, ha fallado porque el grupo encargado de vigilar a los miembros de la misma aldea tratados con simpatía, permitiendo a los hogares que consumen energía excesiva. Además, después de la extensión micro-red para Khilang, la demanda supera la oferta, debido al uso generalizado de las cocinas eléctricas.

Debido a estas limitaciones, especialmente las relacionadas con la financiamiento y la asistencia técnica, puede ser preferible que participe una entidad privada o pública. El modelo basado en el sector privado consiste en la participación de una empresa privada para instalar, poseer y administrar el sistema de micro-red (Banco Mundial, 2008). Este modelo tiene ventajas significativas en que a menudo mejora los flujos financieros, involucra mayor experiencia técnica fiable, y proporciona el más

companies can often garner adequate local involvement and support while satisfying relevant political interests. As Rolland and Glania (2011: 25) note, “the private sector model is the approach with the greatest potential, taking into account the capacities of private companies and the needs and markets of developing countries.”

The limited profitability or rate of return on many rural micro-grid projects acts as a major disincentive, and thus a severe limitation to private-sector solutions (World Bank, 2008). If the economic returns of these investments were sufficient to support a niche market, it would most likely also justify the extension of the regional or national grid. Therefore, some analysts argue that the private sector will not enter a micro-grid market without government incentives or support (Rolland and Glania, 2011). However, recent research has found that a new trend may be emerging (Business Wire, 2011). With the recent success of a number of micro-grid projects globally, especially for remote systems, a US\$1 billion market will exist by 2017. Already, market trends indicate that full-scale commercial micro-grid projects are emerging, and over 700 generation plants in developing countries are financed and operated by independent power producers (Business Wire, 2011; Rolland and Glania, 2011). In light of this shift, there may be a growing role for governmental support of these emerging markets.

The utility-based model involves utility responsibility for ownership and management of the grid. Currently, utilities are the principal force behind rural electrification schemes, and therefore they have a great deal of technical and operational experience as well as deep financial resources (World Bank, 2008). Unfortunately, utilities have not been very successful at promoting electrification schemes, evidenced by the large number of people currently without access to electricity. In addition, by a wide range of interests and agendas influence utilities and the limited priority given to rural electrification or micro-grids by those interests imply that

bajo coste de la electricidad de cualquier otro sistema. Por otra parte, las empresas privadas a menudo pueden reunir la participación local y el apoyo adecuados al tiempo que satisface los intereses políticos pertinentes. Como Rolland y Glania (2011: 25) señalan, “el modelo del sector privado es el enfoque con mayor potencial, teniendo en cuenta las capacidades de las empresas privadas y las necesidades y los mercados de los países en desarrollo.”

La rentabilidad limitada o tasa de rentabilidad de muchos proyectos de micro-red rurales actúa como un desincentivo importante, y por lo tanto una limitación severa a las soluciones del sector privado (Banco Mundial, 2008). Si la rentabilidad económica de estas inversiones fueron suficientes para apoyar un nicho de mercado, lo más probable es que también justifiquen la extensión de la red regional o nacional. Por lo tanto, algunos analistas sostienen que el sector privado no va a entrar en un mercado de micro-red sin incentivos o apoyo del gobierno (Rolland y Glania, 2011). Sin embargo, investigaciones recientes han descubierto que puede estar emergiendo una nueva tendencia (Business Wire, 2011). Con el reciente éxito de una serie de proyectos de micro-red a nivel mundial, existirá especialmente para los sistemas remotos, un mercado de U.S. \$ 1 mil millones para el año 2017. Actualmente, las tendencias del mercado indican que están surgiendo proyectos de micro-red comercial a gran escala, y más de 700 plantas de generación en los países en vías de desarrollo son financiados y gestionados por los productores independientes de energía (Business Wire, 2011; Rolland y Glania, 2011). A la luz de este cambio, puede haber un creciente papel de apoyo gubernamental de estos mercados emergentes.

El modelo basado en la utilidad implica responsabilidad de la utilidad para la propiedad y la gestión de la red. Actualmente, los servicios públicos son la principal fuerza detrás de los planes de electrificación rural, y por lo tanto tienen una gran experiencia técnica y operativa, así como los recursos financieros profundos (Banco Mundial, 2008). Por desgracia, los servicios públicos no

utilities are poorly equipped for providing micro-grid services (Rolland and Glania, 2011). Therefore, utilities will most likely have only a marginal or supplementary role in micro-grid expansion.

The final model, known as a hybrid model, combines the most advantageous aspects of each of the above models by assigning different ownership and management responsibilities to different agents (World Bank, 2008). This system requires that a utility or public organization take on the financing and installation of the grid, while a private company invests in the energy system used to provide power. Local community organizations or individuals oversee daily management and operation with support from a public or private source for fee collection, training, and technical repairs. Any number of variations in the model may be viable, as long as participants divide the duties in a manner that promotes operational and economic efficiency.

One popular variation of this model involves a public-private partnership (Rolland and Glania, 2011). A national or regional government or utility provides the micro-grid capital and equipment, but transfers ownership to a local operating committee or community cooperative. The public entity then cooperates with a local power provider to sell energy produced with distributed technologies at wholesale prices, and the power provider later sells that energy on the micro-grid at a retail price. This public-private partnership model, instituted by the private company Sunlabob with public and NGO assistance, worked well in both Vietnam and the Lao PDR (Rolland and Glania, 2011; Skumanich and Fulton, 2011).

## Micro-grid Policy

Depending on the operational model used to install and operate the micro-grid system an additional set of challenges will arise. Each of these challenges creates a role for government policy to support or expand



han tenido mucho éxito en la promoción de los planes de electrificación, evidenciado por el gran número de personas que actualmente no tienen acceso a la electricidad. Además, mediante una amplia gama de intereses y agendas, influir servicios públicos y la escasa prioridad que se da a la electrificación rural y micro-redes de esos intereses implica que los servicios públicos están mal equipados para proporcionar servicios de micro-red (Rolland y Glania, 2011). Por lo tanto, lo más probable es que los servicios públicos tengan sólo un papel marginal o complementario en la expansión de micro-red.

El último modelo, conocido como modelo híbrido, combina los aspectos más ventajosos de cada uno de los modelos anteriores al asignar diferentes responsabilidades de gestión de la propiedad y de los diferentes agentes (Banco Mundial, 2008). Este sistema requiere que una organización de utilidad pública o de asumir la financiamiento y la instalación de la red, mientras que una empresa privada invierte en el sistema de energía que se utiliza para proporcionar energía. Las Organizaciones comunitarias locales o individuos supervisan la gestión y la operación diaria con el apoyo de una fuente pública o privada para la recaudación de tarifas, la formación, y las reparaciones técnicas. Cualquier número de variaciones en el modelo puede ser viable, siempre y cuando los participantes se dividan las funciones de una manera que promueve la eficiencia operativa y económica.

Una variación popular de este modelo consiste en una asociación público-privada (Rolland y Glania, 2011). Un gobierno o empresa nacional o regional aporta el capital y equipo de la micro-red, pero transfiere la propiedad de un comité operativo local o de la comunidad cooperativa. La entidad pública se colabora con una empresa local de electricidad para vender energía producida con tecnologías distribuidas a precios al por mayor, y más tarde el proveedor de energía que vende energía en el micro-red a un precio menor. Este modelo de asociación público-privada, creada por la empresa privada con Sunlabob con asistencia pública y de las ONG, funcionó bien en Vietnam y la República

micro-grid projects. A review of relevant policies and mechanisms will identify those with the most potential to promote micro-grid systems. Policies should promote long-term project design, incentivize private investment in micro-grid markets, provide tariff support or structures that are both economically attractive to outside interests but also affordable for local households, and also institute regulations that facilitate projects rather than inhibit them.

To begin, government support of tariffs are the most important mechanism to achieve sustainable projects. Two types of tariff policies can meet these goals (Rolland and Glania, 2011). Break-even tariffs ensure sufficient revenues to cover O&M&M costs, but at low prices for customers. They are typically subsidized to meet these criteria, and are often the best tool for community-based operational models. Financially viable tariffs, on the other hand, establish investment or production subsidies in order to increase the financial return and improve private-sector interest in micro-grid projects. Beyond tariffs, subsidies to end users to finance connection costs or production investments help promote micro-grid development by incentivizing communities to share energy resources (Rolland and Glania, 2011). The benefits of these subsidies issue from the enhanced ability of communities to utilize reliable energy supply for income-generating activities.

Subsidies for capital investment, such as rebates, are an effective and popular tool for developing new micro-grid markets and projects (Rolland and Glania, 2011). Capital subsidies provide manufacturers and other private entities to invest in projects and technology. As markets mature with time, product standardization, learning effects and competition will reduce micro-grid costs, reducing the need to maintain subsidies. Ideally, these subsidies phase out over time as micro-grid systems and DG technology reach grid parity. Recognizing the potential for hybrid systems, capital subsidies for RE technology would be an especially effective

Democrática Popular Lao (Rolland y Glania, 2011; Skumanich y Fulton, 2011).

## Política de micro-red

Dependiendo del modelo de funcionamiento que se utiliza para instalar y operar el sistema de micro-redes, surgirán un conjunto adicional de desafíos. Cada uno de estos desafíos crea un papel para que la política del gobierno apoye o amplíe los proyectos de micro-red. Una revisión de las políticas y mecanismos pertinentes identificará aquellos con el mayor potencial para promover los sistemas de micro-red. Las políticas deben promover el diseño de los proyectos a largo plazo, incentivar la inversión privada en los mercados de micro-red, la atención o estructuras que son económicamente atractivos para los intereses externos, sino también asequible para las familias locales así como el reglamento del Instituto que facilitan los proyectos en lugar de inhibirlos.

Para empezar, el apoyo del gobierno sobre los aranceles son el mecanismo más importante para lograr proyectos sostenibles. Hay dos tipos de políticas tarifarias que pueden cumplir estos objetivos (Rolland y Glania, 2011). Aranceles de Punto de equilibrio que garantizan los ingresos suficientes para cubrir los costos O&M&M, pero a precios bajos para los clientes. Por lo general son subsidiados para satisfacer estos criterios, y son a menudo la mejor herramienta para los modelos operativos basados en la comunidad. Por otra parte, los aranceles financieramente viables, por otra parte, establecen la inversión o ayudas a la producción con el fin de aumentar el rendimiento financiero y mejorar el interés del sector privado en proyectos de micro-red. Más allá de los aranceles, los subsidios a los usuarios finales para financiar los costos de conexión o inversiones de producción ayudan a promover el desarrollo de la micro-red al incentivar a las comunidades a compartir los recursos energéticos (Rolland y Glania, 2011). Los beneficios de estos subsidios parten de la mayor capacidad de las comunidades para utilizar el suministro de energía confiable para las actividades generadoras de ingresos.

way of reducing the initial capital costs of hybrid systems.

Similar to direct subsidies, governments can utilize tax credits as incentives to attract private investment in micro-grids (Rolland and Glania, 2011). They are typically production or investment credits. Experiences with these mechanisms in developed nations indicate that production credits are often preferable to investment credits because they incentivize energy production and do not simply promote installation of excess or poor performing equipment (Sawin, 2004). Other mechanisms include elimination of import duties on micro-grid compatible technologies, and government-sponsored project surveys, training programs and technical assistance.

Dependiendo del modelo de funcionamiento que se utiliza para instalar y operar el sistema de micro-redes, surgirán un conjunto adicional de desafíos.

*Depending on the operational model used to install and operate the micro-grid system an additional set of challenges will arise.*

Regulations are another key aspect of policy through which micro-grids can receive substantial support (Rolland and Glania, 2011). Regulations should not impose unnecessary transaction costs on private-sector or community-based projects. This is a severe problem in heavily regulated energy sectors in many developed and developing regions. Adding to these problems, many regulations are designed to protect large utilities or special interests. This leaves little room for the emergence or maturation of new energy systems such as micro-grids. One method to encourage micro-grid investment is

Las subvenciones para inversiones de capital, tales como descuentos, son una herramienta eficaz y popular para el desarrollo de nuevos mercados y proyectos (Rolland y Glania, 2011) micro-red. Las subvenciones de capital promueve que los fabricantes y otras entidades privadas puedan invertir en proyectos y tecnología. En la medida que los mercados maduran con el tiempo, la normalización de productos, los efectos de aprendizaje y la competencia reducirán los costos de la micro-red, lo que reduce la necesidad de mantener las subvenciones. Lo ideal sería que estos subsidios se transformaran gradualmente con el tiempo en sistemas de micro-red y la DG tecnología alcance la paridad de red. Reconociendo el potencial de los sistemas híbridos, las subvenciones de capital para la tecnología de ER sería una forma especialmente eficaz de reducir los costos de capital iniciales de los sistemas híbridos.

Al igual que los subsidios directos, los gobiernos pueden utilizar los créditos fiscales como incentivo para atraer la inversión privada en las micro-redes (Rolland y Glania, 2011). Por lo general son créditos de inversión o producción. Las experiencias con estos mecanismos en los países desarrollados indican que los créditos de producción a menudo son preferibles a los créditos de inversión, ya que incentivan la producción de energía y no simplemente promueven la instalación de exceso o deficiencias del equipo realizando (Sawin, 2004). Otros mecanismos incluyen la eliminación de los derechos de importación de tecnologías compatibles de la micro-red, y las encuestas de los proyectos patrocinados por el gobierno, programas de capacitación y asistencia técnica.

Las regulaciones son otro aspecto fundamental de la política a través del cual las micro-redes pueden recibir un apoyo sustancial (Rolland y Glania, 2011). Los reglamento no deben imponer costos de transacción innecesarios en proyectos del sector privado o de la comunidad. Este es un problema grave en los sectores de la energía fuertemente reguladas en muchas regiones desarrolladas y en desarrollo. Además de estos problemas, muchas regulaciones están diseñadas para proteger a grandes empresas

to create a separate regulatory regime from that which governs large-scale grids (Rolland and Glania, 2011). This allows for implementation of more system-specific rules as well as a sufficient degree of flexibility to allow micro-grid markets time and room to develop and innovate.

Of course, the challenge to creating effective regulations is being sure they are not too open and that they are enforceable. Just as they limit the ability of utilities to exploit monopoly power in the energy sector, policymakers must be cognizant of independent or private entities with monopoly power over micro-grids as well. This may prove to be a more difficult task for enforcement, however, because of the isolation of rural or off-grid locations and the potentially large number of power providers. It is also important to maintain existing environmental and social standards in micro-grids regulation (Rolland and Glania, 2011).

Contractual standards are also extremely effective for promoting DG technology and supporting micro-grid development (Rolland and Glania, 2011). Limiting utility power in wholesale energy transactions allows for independent producers to participate in energy markets. One form of contractual standard which has been especially powerful is purchase power agreements (PPA). PPAs provide price security and transparency. Such contracts are especially effective in micro-grid operational models, but regulations must ensure that the contracts are both fair and neutral between the parties involved (Rolland and Glania, 2011).

Substantial potential for innovative policies and regulations exists in support of micro-grids. As private entities scale up commercialization of micro-grid projects and equipment manufacturers continue to reduce production costs, communities will see increasing benefits to micro-grid installations. Governments should recognize

de servicios o intereses especiales. Esto deja poco espacio para la aparición o la maduración de los nuevos sistemas de energía, tales como micro-redes. Uno de los métodos para fomentar la inversión de la micro-red es crear un régimen normativo distinto del que rige las redes de gran escala (Rolland and Glania, 2011). Esto permite la aplicación de normas más específicas del sistema, así como un grado suficiente de flexibilidad que permite que los mercados de micro-red tengan tiempo y espacio para desarrollar e innovar.

Por supuesto, el reto de la creación de regulaciones efectivas es estar seguro de que no son demasiado abiertos y que son exigibles. En la medida que limitan la capacidad de los servicios públicos para explotar el poder de monopolio en el sector energético, las autoridades también deben estar al corriente de las entidades independientes o privadas con poder de monopolio sobre las micro-redes. Esto puede llegar a ser una tarea más difícil de hacer cumplir, sin embargo, debido al aislamiento de las zonas rurales o fuera de la red y el amplio número de proveedores de energía. También es importante mantener los estándares ambientales y sociales existentes en la regulación de las micro-redes (Rolland y Glania, 2011).

Las normas contractuales son también extremadamente eficaces para promover la tecnología de DG y apoyar el desarrollo de la micro-red (Rolland y Glania, 2011). Limitar el suministro eléctrico en las transacciones mayoristas de la energía permite a los productores independientes para que participen en los mercados energéticos. Los acuerdos de compra de energía (PPA) son una forma de norma contractual que ha sido especialmente poderosa. Los PPA proporcionan la seguridad y la transparencia de los precios. Estos contratos son especialmente eficaces en los modelos operativos de la micro-red, pero las normas deben garantizar que los contratos sean a la vez justo y neutral entre las partes involucradas (Rolland y Glania, 2011).

Existe un potencial considerable para las políticas y regulaciones innovadoras en apoyo a las micro-redes. Como entidades privadas

this potential and find new ways to nurture and expand these markets until they achieve grid parity with conventional centralized, large-scale grid technologies.

## Conclusion

Over 1.4 billion people lack access to electricity globally. Traditional energy models emphasizing large, centralized energy production facilities and vast networks of transmission and distribution infrastructure have failed to reach many of these communities. Other communities have access to electricity only through inefficient generators operated with increasingly expensive fossil fuels such as diesel. New energy paradigms and systems must emerge to promote access to electricity, a key to social and economic development. One paradigm suggests distributed generation and micro-grids as a new direction for the energy sector.

Micro-grids are a powerful design concept with a number of applications. They have been utilized in military installations to reduce fuel consumption and improve energy security. They have also been suggested as a platform to integrate smart grid technology and renewable energy. Promoting micro-grids as a rural electrification scheme holds the most potential. They provide a reliable,

Más de 1,4 millones de personas carecen de acceso a la electricidad a nivel mundial.

*Over 1.4 billion people lack access to electricity globally.*

proven energy option to rural communities that are too far or costly to connect to national grids through the development and distribution of local energy resources.

A variety of technologies including generators and RE systems can power micro-grids. The most promising and cost-effective option over the life of a micro-grid



amplían la comercialización de proyectos de micro-red y los fabricantes de equipos siguen reduciendo los costos de producción, las comunidades verán aumentar los beneficios a las instalaciones de la micro-red. Los gobiernos deben reconocer este potencial y encontrar nuevas maneras de cultivar y ampliar estos mercados hasta lograr la paridad de red con las tecnologías convencionales centralizados y a gran escala de la cuadrícula.

## Conclusión

Más de 1,4 millones de personas carecen de acceso a la electricidad a nivel mundial. Los modelos tradicionales de energía, hacen hincapié en las grandes instalaciones de producción de energía centralizadas y las grandes redes de infraestructuras de transporte y distribución no han podido llegar a muchas de estas comunidades. Otras comunidades tienen acceso a la electricidad sólo a través de generadores ineficientes operadas con combustibles fósiles cada vez más caros, como el diesel. Deben emerger nuevos paradigmas y sistemas de energía para promover el acceso a la electricidad, una clave para el desarrollo social y económico. Un paradigma sugiere la generación distribuida y las micro redes como una nueva dirección para el sector energético.

Las micro-redes son un concepto de diseño de gran alcance con una serie de aplicaciones. Han sido utilizados en instalaciones militares para reducir el consumo de combustible y mejorar la seguridad energética. También se han sugerido como una plataforma para integrar la tecnología de redes inteligentes y las energías renovables. Promover micro-redes como un plan de electrificación rural tiene el mayor potencial. Ellos proveen una opción de energía confiable y probada para las comunidades rurales que son demasiado costosos para conectarse a las redes nacionales a través del desarrollo y la distribución de los recursos energéticos locales.

Una variedad de tecnologías incluyen generadores y sistemas de RE que puede alimentar las micro redes. La opción más prometedora y rentable durante la vida de

is the hybrid system, which combines local RE resources with an energy storage system and a diesel generator. They allow for the most sustainable and cheapest generation of energy, and do not depend solely on foreign fuel supplies. A hybrid micro-grid poses several challenges, however.

First, hybrid micro-grids are technologically complex, and they depend on a local pool of technical expertise and advanced equipment. They also tend to have high initial capital costs which necessitate a suitable source of finance for installation and maintenance. Finally, the most crucial aspect is the operational model applied to identify ownership and management of the micro-grid. Without delineating these responsibilities, micro-grids fail to operate efficiently and often run into severe problems. The operational model may be community-based, private sector-based, utility-based, or a hybrid model which combines aspects of each in a variety of ways.

Micro-grids also depend on strong and effective policies and regulations. Subsidies, tax credits, training, and tariff support bolster markets and increase the economic attractiveness of micro-grid investments in the short-term. Regulations are of paramount importance. They should encourage micro-grid market development and expansion, but without sacrificing environmental or social standards. They must also be sure to prevent private interests from exploiting local monopoly power, which would have detrimental effect on social and economic development in rural communities. Traditional approaches to energy challenges are insufficient to meet them all, but new concepts such as micro-grids provide powerful alternatives for expanding access to reliable, clean energy for all.

un micro-red es el sistema híbrido, que combina los recursos locales de ER con un sistema de almacenamiento de energía y un generador diesel. Permiten la generación más sostenible y más barata de la energía, y no dependen exclusivamente de los suministros de combustible extranjeros. Sin embargo una micro-red híbrida plantea varios desafíos.

En primer lugar, las micro-redes híbridas son tecnológicamente complejas y dependen de una piscina local de conocimientos técnicos y equipos avanzados. También tienden a tener altos costos de capital iniciales que requieren una fuente adecuada de financiamiento para la instalación y el mantenimiento. Por último, el aspecto más importante es el modelo operativo aplicado para identificar la propiedad y gestión de la micro-red. Sin delinear estas responsabilidades, las micro-redes no pueden operar de manera eficiente y, a menudo se encontrará con graves problemas. El modelo de operación puede estar basado en la comunidad, el sector privado basado en la utilidad o un modelo híbrido que combine aspectos de cada uno en una variedad de maneras.

Las micro-redes también dependen de las políticas y regulaciones sólidas y eficaces. Las subvenciones, créditos fiscales, capacitación y apoyo arancelaria apuntalan mercados y aumentan el atractivo económico de las inversiones de la micro-red en el corto plazo. Los reglamentos son de suma importancia. Deberían fomentar el desarrollo del mercado de la micro-red y la expansión, pero sin renunciar a las normas ambientales o sociales. También deben asegurarse de evitar que los intereses privados exploten el poder de monopolio local, lo que tendría efectos perjudiciales en el desarrollo social y económico en las comunidades rurales. Los enfoques tradicionales de los desafíos energéticos son insuficientes para atender a todos, pero los nuevos conceptos tales como micro-redes son una alternativa de gran alcance para la expansión del acceso a la energía limpia y confiable para todos.

## Referencias / References

- Breyer, C., Werner, C., Rolland, S., & Adelman, P. (2011). *Off-grid Photovoltaic Applications in Regions of Low Electrification: High Demand, Fast Financial Amortization and Large Market Potential*. 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference, (pp. 5-9). Hamburg.
- Gurung, A., Bryceson, I., Joo, J., & Oh, S. (2011). *Socio-economic impacts of a micro-hydropower plant on rural livelihoods*. *Scientific Research and Essays*, 6(19), 3964-3972.
- Kamenetz, A. (2009, July 1). *Why the Microgrid Could Be the Answer to Our Energy Crisis*. Acceso, 18 de abril, 2012, de FastCompany.com: <http://www.fastcompany.com/magazine/137/beyond-the-grid.html>
- Marsden, J. (2011). *Distributed Generation Systems: A New Paradigm for Sustainable Energy*. 2011 Green Technologies Conference (pp. 1-4). IEEE.
- Muñoz, J., Narvarte, L., & Lorenzo, E. (2007). Experience With PV-diesel Hybrid village Power Systems in Southern Morocco. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 15, 529-539.
- Nayar, C. (1995). *Recent Developments in Decentralised Mini-Grid Diesel Power Systems in Australia*. *Applied Energy*, 52, 229-242.
- Rolland, S., & Glania, G. (2011). *Hybrid Mini-grid for Rural Electrification: Lessons Learned*. Bruselas: *Alliance for Rural Electrification*.
- Sawin, J., & Flavin, C. (2004). *Policy Lessons for the Advancement & Diffusion of Renewable Energy Technologies around the World*. Nueva Deli: *The Energy Research Institute*.
- Schwerin, C. (2011, June 28). *Army deploys microgrids in Afghanistan for 'smart' battlefield power*. Acceso, 23 de abril, 2012, de Army.mil: <http://ww.army.mil/article/60709/>
- Skumanich, A., & Fulton, S. (2011). *Solar power in developing countries: will PV-supported micro-grids provide the next wave of demand?* *Photovoltaics International*, 13, 210-215.
- Strauss, P., & Engler, A. (2003). *AC Couple PV Hybrid Systems and Micro Grids - State of the Art and Future Trends*. *Proceedings of the 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion* (pp. 2129-2134). Osaka: IEEE.
- The World Bank. (2008, June 30). *REToolkit: A Resource for Renewable Energy Development*. Acceso 30 de abril, 2012, en [worldbank.org](http://siteresources.worldbank.org/INTRENEWENERGYTK/Resources/REToolkit_issues_note.pdf): [http://siteresources.worldbank.org/INTRENEWENERGYTK/Resources/REToolkit\\_issues\\_note.pdf](http://siteresources.worldbank.org/INTRENEWENERGYTK/Resources/REToolkit_issues_note.pdf)
- The World Bank Group. (2007). *Technical and Economic Assessment of Off-grid, Mini-grid and Grid Electrification Technologies*. Energy and Mining Sector Board. Washington, DC: *The World Bank*.
- Vallvé, X., Gafas, G., Arias, C., Mendoza, J., & Torra, C. (2001). *Electricity Costs of PV-Hybrid vs. Diesel in Microgrids for Village Power*. 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, (pp. 1-6). Munich.