

enerLAC

Revista de
Energía de
Latinoamérica
y el Caribe

Contribuciones
Nacionales
Determinadas

Quema y Venteo
de GN Asociado

Interconexiones
Energéticas

Integración
Regional

Electrificación
Rural

Smart
Grids



Fotografía de la portada Hidroeléctrica La Miel I, Colombia (ISAGEN).

© Copyright Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) 2017. Todos los derechos reservados.

www.olade.org
enerlac@olade.org
(+593 2) 2598-122 / 2598-280 / 2597-995 / 2599-489
Quito, Ecuador

Selección de Artículos

OLADE realizó en el mes de septiembre y octubre de 2016 dos concursos para artículos técnicos en Integración con Energías Renovables y de Hidrocarburos respectivamente. Las instrucciones para los autores sobre la presentación formal de los artículos, normas de citas, referencias bibliográficas y originalidad de los mismos se encuentran en los siguientes enlaces:

<http://www.olade.org/concurso-integracion/>

<http://www.olade.org/concurso-hidrocarburos>



COMITÉ EDITORIAL

Alfonso Blanco
SECRETARIO EJECUTIVO

Andrés Schuschny
DIRECTOR DE ESTUDIOS, PROYECTOS E INFORMACIÓN

Pablo Garcés
ASESOR TÉCNICO

Martha Vides L.
ESPECIALISTA PRINCIPAL DE HIDROCARBUROS

Alexandra Arias
ESPECIALISTA PRINCIPAL DE ELECTRICIDAD

Blanca Guanocunga
BIBLIOTECARIA

COORDINADOR@S DE LA EDICIÓN

Alfonso Blanco
DIRECTOR

Pablo Garcés
EDITOR

Andrés Schuschny, Martha Vides L.
REVISORES

Las ideas expresadas en este documento son responsabilidad de los autores y no comprometen a las organizaciones mencionadas.

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Ana María Arroyo
CONSULTORA DE DISEÑO GRÁFICO

COLABORADORES:

Irene Alfaro, Directora de Downstream ARPEL y *Ricardo Buyatti*, Gerente de Downstream ARPEL, miembros del jurado calificador del Concurso de Artículos Técnicos de la Red de Hidrocarburos 2016-2017: "Venteo y quema de gas asociado al petróleo en América Latina y el Caribe".

Tabaré A. Currás, Regional Director Sustainable Energy Policy | WWF Latin America & the Caribbean, miembro del jurado calificador del Concurso de Artículos Técnicos de la Red de Integración 2016-2017: "Intégrate con Renovables".

Marysol Materán, Consultora de Investigación

Esta revista es apoyada por la
Cooperación Canadiense.



Global Affairs
Canada

Affaires mondiales
Canada

AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE: ESTADO DEL ARTE DE LAS REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES

Dr. Juan Manuel Gers¹

Recibido: 01/nov/2016 y Aceptado: 30/jun/2017
ENERLAC. Volumen I. Número 1. Octubre, 2017 (24-41).



RESUMEN

A nivel mundial, en los últimos años se ha iniciado una revolución en el sector de la energía, especialmente en el subsector de electricidad, con la introducción del concepto de redes eléctricas inteligentes, conocidas como “*Smart Grids*”. Estas empiezan a transformar radicalmente la forma de producir, distribuir, comercializar y consumir energía. La reducción del consumo, el control del uso de fuentes energéticas contaminantes, la participación de los usuarios y la integración de energías renovables no convencionales son algunos de los factores más importantes de las redes inteligentes.

Esta nueva visión del subsector eléctrico, está intrínsecamente asociado a los retos que tienen los países para lograr:

Mayor seguridad energética: a través de la definición de políticas para hacer frente a los problemas de suministro de energía. A su vez la reducción de la dependencia del combustible fósil permite a los países disminuir la incertidumbre de los precios del petróleo.

Producción de energía limpia: la preocupación mundial por el cambio climático y su afectación al medio ambiente, ha llevado a los países hacia una transición energética, en donde las energías limpias juegan un rol muy importante.

¹ Juan M. Gers es licenciado en Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Valle, Colombia (1977) cuenta con una Maestría en Sistemas de Energía en la Universidad de Salford en Inglaterra y un doctorado (1998) de la Universidad De Strathclyde en Escocia con una investigación en Sistemas de Distribución Automatización. Con experiencia en la gestión de empresas consultoras y enseñanza universitaria en cursos de postgrado.
jmgers@gersusa.com

Uso eficiente de los recursos energéticos: para lograr una vida útil mayor de los recursos que se están utilizando y reducir los conflictos sociales y ambientales.

Integración energética sostenible: para aprovechar la complementariedad al recurrir a la abundancia energética de un país para abastecer a otro de modo eficaz, rentable y sostenible.

En este contexto, la red inteligente representa el conjunto completo de las respuestas a los retos actuales y propuestas a los desafíos futuros del suministro de energía. El mercado energético de América Latina no es la excepción, el desarrollo de las redes inteligentes en la región puede ayudar no sólo a mejorar el mercado de la energía, sino también a desarrollar las redes y a lograr una mayor participación de los clientes. La eficacia y el flujo de información en toda la red y la integración de los recursos de energía renovable pueden mejorar la condición de la vida de los habitantes. Esta es la razón por la cual la red inteligente es la clave para lograr la modernización de las redes eléctricas y el desarrollo de la sociedad latinoamericana en una condición respetuosa del medio ambiente y de la mano con el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

El concepto de redes inteligentes es muy amplio en su alcance, por lo que el potencial de aplicación es también muy grande y complejo. El argumento fundamental es la organización y priorización para lograr una estructura interoperable y segura de las redes inteligentes. Esta condición también aplica a los países de América Latina, para que se pueda garantizar una integración sostenible en la red eléctrica.

En este artículo, se resume la situación actual de las redes inteligentes y la correspondiente correlación de las prácticas con la realidad latinoamericana. Se recapitulan los conceptos y fundamentos de las redes inteligentes, se discuten las posibilidades y los retos de la integración de la energía renovable en la red y la modernización

a través de tecnologías de información de los sistemas eléctricos. Se analiza la condición actual sobre el mundo y los países de América Latina, centrada en el desarrollo de la tecnología y la integración del mercado. Finalmente se presenta el panorama futuro y algunas recomendaciones para su aplicación en América Latina.

Palabras Claves: Redes Inteligentes, Electricidad, *Smart Grids*, América Latina

ABSTRACT

A revolution has been initiated world-wide in the energy sector in recent years, especially in the electricity subsector, with the introduction of the concept of "Smart Grids". They radically transform the production, distribution, trade and energy consumption processes. Consumption reduction, energy sources pollution control, users involvement and non-conventional renewable energies integration are some of the most important factors in smart grids.

This new vision of the electric subsector is intrinsically associated with the challenges to be overcome by the countries:

Greater energy security: *through the definition of policies, in order to deal with energy supply problems. In turn, the reduction of on fossil fuels dependence enables countries to reduce the uncertainty of oil prices.*

Clean energy production: *global concern about climate change and its impact on the environment has led countries towards an energy transition, where clean energy plays a very important role.*

Efficient use of energy resources: *to achieve a greater useful life of the resources being used and reduce social and environmental conflicts.*

Sustainable energy integration: *to take advantage of complementarity by resorting*

to the energy abundance of one country, to supply another in an efficient, profitable and sustainable way.

In this context, the smart grid represents the complete set of responses to current and proposed threats to future energy supply challenges. The Latin American energy market is no exception, the development of smart grids in the region which can help not only to improve the energy market, but also to develop networks and rise customer participation. The efficiency and flow of information throughout the network and the integration of renewable energy resources can improve the living conditions of the inhabitants. This is why the smart grid is the key to achieving the modernization of electricity networks and the development of Latin American society in a respectful environment and hand in hand with the achievement of the Sustainable Development Goals.

The concept of smart grids is very broad in scope, so the potential application is also very large and complex. The main argument is the organization and prioritization to achieve an interoperable and secure structure of smart grids. This condition also applies to Latin American countries, so that sustainable integration can be guaranteed in the electricity grid.

This article summarizes the current situation of smart grids and the corresponding correlation of practices with Latin American reality. It recapitulates the concepts and foundations of smart grids, discusses the possibilities and the challenges of the integration of renewable energy in the network and modernization through information technologies of the electrical systems. It analyzes the current global situation and the one of the Latin American countries, focusing on the development of technology and market integration. Finally, the future scenario and some recommendations for its application in Latin America have been also included.

Keywords: Smart Grids, Electricity, Latin America



La red inteligente es la modernización sostenible de la red eléctrica, la integración de tecnologías de información y comunicación para gestionar y operar de forma inteligente la generación, transmisión, distribución, consumo e incluso el mercado de la energía eléctrica.

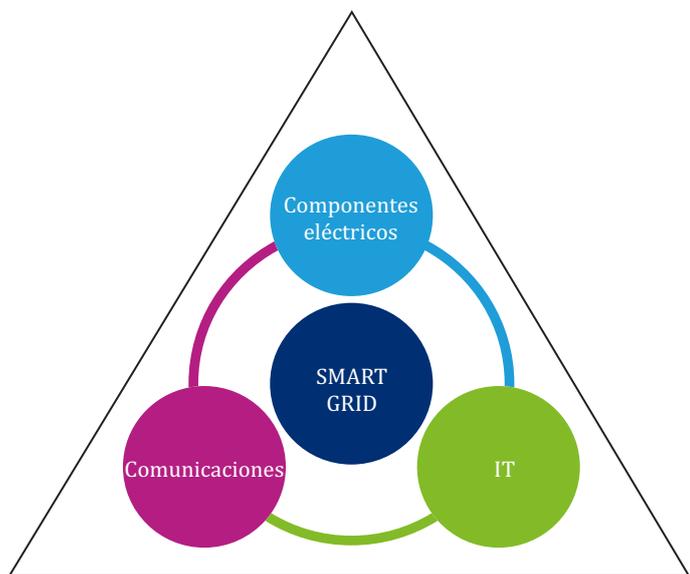
CONCEPTO DE REDES INTELIGENTES

El término “red inteligente” tiene diferentes definiciones y connotaciones, que pueden ser muy simples o muy amplias. La mayoría de las definiciones concuerdan con que la red inteligente es la modernización sostenible de la red eléctrica, la integración de tecnologías de información y comunicación para gestionar y operar de forma inteligente la generación, transmisión, distribución, consumo e incluso el mercado de la energía eléctrica (Gers, 2013). Diferentes organizaciones a nivel mundial trabajan en el tema para obtener una definición. Sin embargo, el Departamento de Energía de los Estados Unidos indica en más detalle que las redes inteligentes anticipan y responden a las perturbaciones del sistema de modo que se puedan corregir fallas con antelación, dan cabida a todas las opciones de generación y almacenamiento, permiten la participación activa de los consumidores, optimizan la utilización de activos, la operación eficiente y facilitan la integración de los recursos de energía renovable en cada parte de la red eléctrica. Este concepto

de red inteligente combina la modernización y una mayor integración de todos los agentes del sistema eléctrico. (U.S. Department of Energy, 2009)

Las definiciones reflejan una gran variedad de posibilidades, que han capturado las aspiraciones y objetivos de gobiernos, políticos, reguladores, operadores e innovadores de todo el mundo. Los gobiernos tienen objetivos nacionales claves como la seguridad energética, el crecimiento económico y la sostenibilidad ambiental. La red inteligente es esencial para lograr la consecución de estos objetivos. La industria también está trabajando junto con muchos gobiernos en la fabricación de soluciones prácticas que ayuden en el logro de estos objetivos.

Figura 1. Concepto de Red Inteligente



Fuente: Elaboración propia

Para este artículo, se llevó a cabo una revisión de la condición de la red inteligente, con el fin de evaluar el grado de madurez en los procesos de modernización y las condiciones en los países de

América Latina. Al momento, la mayoría de los países apenas han iniciado el proceso, y se han centrado en los aspectos de regulación, medición inteligente y la inclusión de generación distribuida. Hay un largo camino por recorrer para lograr el enfoque correcto de la modernización de las redes eléctricas. Sin embargo, la mayoría de los países son conscientes de que deben dar el primer paso con el fin de garantizar una modernización sostenible de sus sistemas eléctricos. Eso significa que las estrategias comunes y los aspectos regulatorios deben ser revisados en cada país, con el fin de definir funciones, mecanismos, roles de los participantes, objetivos y tiempos de implementación.

VENTAJAS DE LAS REDES INTELIGENTES

Las ventajas de las redes eléctricas inteligentes son diversas y quienes mayores beneficios logran son los consumidores y las energías renovables. Algunas de estas ventajas son:

- 1. Mejora la fiabilidad del sistema:** la red inteligente reduce drásticamente los costos ocasionados por perturbaciones eléctricas. La comunicación y las tecnologías de control son de gran ayuda para aislar fallas y permitir un restablecimiento más rápido del servicio.
- 2. Mejora la eficiencia del sistema:** por el lado de la oferta hay reducción de las necesidades de inversión en generación y construcción de redes y por el lado de la demanda, el cliente logra la gestión y control del consumo de electricidad.
- 3. Permite la integración de recursos energéticos distribuidos:** la instalación de unidades de generación a nivel de cliente es cada día más frecuente. Estas fuentes de generación a pequeña escala se conocen como generación distribuida o recursos energéticos distribuidos, y están recibiendo mucha atención de las autoridades gubernamentales y las instituciones ambientales, ya que alivian los niveles de contaminación que algunas plantas tienen, en particular los que utilizan carbón y derivados del

petróleo. Adicionalmente pueden aumentar la fiabilidad del suministro de energía en el sistema eléctrico.

4. Posibilidad de comunicación bidireccional con los clientes: la filosofía de las redes inteligentes se basan en la adquisición de datos en todos los puntos del sistema de energía, incluidos los clientes. Esto permite una comprensión profunda de toda la dinámica asociada a la generación de energía, no sólo sobre el consumo de energía, sino también el comportamiento de los clientes asociados a este consumo.

5. Optimización del uso y funcionamiento más eficiente de los activos: los datos en tiempo real hacen que sea posible utilizar más eficazmente los activos durante condiciones tanto normales como adversas y reducir los costos de los cortes de energía, esto se traduce en una mayor vida útil de los activos del sistema eléctrico.

6. Promover la gestión de demanda de energía: con los datos en tiempo real es posible modificar el consumo de energía de los consumidores, promoviendo el cambio de comportamiento de consumo a través de la educación o incentivos financieros. Esto se conoce como Gestión de la Demanda de Energía o la gestión de la demanda. Esta estrategia estimula a los consumidores a reducir el consumo de energía durante las horas pico, o a cambiar el tiempo de uso de la energía a horas de poca actividad, como la noche o fines de semana.

7. Mitigación y Adaptación al Cambio Climático: al lograr la reducción de emisiones de CO₂ y una mayor seguridad (adaptación) ante desastres naturales.

BARRERAS DE LAS REDES INTELIGENTES

A pesar de las ventajas para implementar redes inteligentes, también hay algunas barreras que deben ser analizadas:

1. Costos: Muchos países consideran que las tecnologías de renovación e implementación de redes eléctricas inteligentes tienen costos altos y que compiten con otras prioridades del país, como la construcción de vías de comunicación, sistemas sanitarios y las mismas redes eléctricas para dar servicio a nuevos usuarios. Por lo tanto, hay muchos desafíos financieros para la aplicación de la infraestructura de redes inteligentes.

2. Barreras regulatorias: Algunos países no han definido políticas ni organismos responsables para regular el tema de redes inteligentes, por lo tanto, no hay procedimientos o reglamentos que presione a los entes involucrados a realizar la implementación de redes inteligentes.

3. Falta de estándares abiertos: Un concepto filosófico de redes inteligentes es la definición de estándares abiertos. Dichas redes necesitan estándares que sean aceptados a nivel global. Diferentes países y organizaciones en el mundo se encuentran desarrollando estos estándares.

MODELOS DE MADUREZ DE REDES INTELIGENTES COMO HERRAMIENTAS DE PLANIFICACIÓN

Para alcanzar los objetivos de redes inteligentes, las empresas de servicios públicos y los países deben evaluar sus condiciones actuales y el “nivel de madurez” que han alcanzado en el tema. Esto ayuda a definir los criterios impulsados por la visión de las redes inteligentes y a priorizar las inversiones para los proyectos a implementar.

El Modelo de Madurez de Redes Inteligentes es una herramienta que proporciona una guía de organización, evaluación y mejora los esfuerzos para seleccionar las aplicaciones de red inteligente con el fin de lograr una transformación y modernización adecuada (*Software Engineering Institute, 2011*). La metodología tiene tres objetivos: en primer lugar, identificar el estado actual de desarrollo de la entidad desde una

perspectiva de red inteligente y el estado deseado se expresa como un nivel de madurez, para realizar el análisis de las deficiencias y obtener una lista simplificada de los pasos requeridos. En segundo lugar, hacer un análisis de costo-beneficio para determinar qué soluciones de redes inteligentes son económicamente viables y, en tercer lugar, organizar y describir las necesidades de los usuarios con los casos de uso en base a las evaluaciones financieras previamente aprobadas. Un modelo sólido tiene que reconocer no sólo las actividades de gestión llevadas a cabo a nivel de proyecto individual, sino también aquellas actividades dentro de una organización que construye y mantiene un marco de enfoques de proyectos eficaces y prácticas de gestión.

Mediante la realización de una evaluación de la madurez, una organización será capaz de verificar lo que ha logrado, sus fortalezas y debilidades, para luego identificar un plan de acción prioritario para tomar las decisiones estratégicas de mejora para el futuro.

INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN LAS REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES

Una de las principales ventajas de la implementación de redes inteligentes corresponde a la integración de energías renovables en la red eléctrica. Esta integración incluye la generación distribuida, el almacenamiento de energía, y la gestión de la demanda en el sistema eléctrico.

Los principales objetivos de la integración de las energías renovables en las redes inteligentes son:

- Aumento de la utilización de activos a través de integración de sistemas de cargas distribuidas de los clientes para reducir la carga pico.
- Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

- Mejora de la seguridad, fiabilidad y capacidad de recuperación de las aplicaciones de micro redes en áreas muy limitadas de la red eléctrica.

- Definición de normas para la cartera de proyectos renovables y de eficiencia energética.

- Inclusión de movilidad eléctrica en las redes.

Al realizar un alto grado de integración de recursos energéticos renovables en la red eléctrica, se espera un funcionamiento seguro y fiable del sistema de potencia. Además, se debe alcanzar una compensación de los servicios realizados por la disminución de número de centrales eléctricas convencionales. Con el fin de mantener la calidad del suministro de energía eléctrica en sistemas con una alta proporción de energías renovables, es necesario tratar de imitar las propiedades de un generador sincrónico con las tecnologías renovables y adaptar el diseño del sistema a las propiedades de las energías renovables basados en inversor.

Las redes inteligentes exigen que esta integración se haga asegurando un sistema eléctrico confiable. Una de las medidas que se deben implementar es la seguridad del suministro, que depende principalmente de la capacidad firme de todo el grupo de unidades de generación.

Sin embargo, hay grandes retos para la integración de las energías renovables en los mercados de energía, así como la definición e implementación de las reglas y bases del mercado, lo que conduce a un cambio del modelo de la generación de energía renovable y una integración rentable de la misma. Equilibrar el mercado de la energía para las fuentes de energía renovable fluctuante, se convierte en una tarea difícil para la futura red inteligente (THE EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION, 2015). Sin embargo, un claro ejemplo de esto se manifiesta en la Interconexión de la red eléctrica de Centroamérica.

Además, los incentivos juegan un papel clave para garantizar la integración de la energía renovable en los mercados eléctricos en la mayoría de los países de la región. Se requiere de incentivos con el fin de hacer que este tipo de energía sea competitiva, sin embargo, la regulación de este incentivo debe ser cuidadosamente analizada y equilibrada.

En los últimos años la adopción de nuevas políticas ha disminuido, ya que la gran mayoría de los países han adoptado algún tipo de apoyo para las energías renovables (*U.S. Department of Energy, 2011*). Los políticos han centrado su atención en la adaptación de las políticas existentes para mantener el ritmo de la rápida evolución de costos y circunstancias.



Una de las principales ventajas de la implementación de redes inteligentes corresponde a la integración de energías renovables en la red eléctrica. Esta integración incluye la generación distribuida, el almacenamiento de energía, y la gestión de la demanda en el sistema eléctrico.

TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN PARA LA APLICACIÓN DE REDES INTELIGENTES

Todas las definiciones de redes inteligentes coinciden en que la infraestructura de la información y la comunicación son componentes clave que las hacen posible. Sin embargo, dado que se requieren altos niveles de fiabilidad, disponibilidad y seguridad para el funcionamiento de las redes del sistema eléctrico, son

necesarios, protocolos seguros que se adapten y ofrezcan niveles más bajos de latencia, mayor ancho de banda, mayor fiabilidad y seguridad.

Los métodos de apoyo a la transmisión y transferencia de datos en las comunicaciones siguen siendo similares a lo que se ha utilizado durante décadas: cable, electricidad, fibra óptica e inalámbrica. Últimamente, las tecnologías de modulación han llegado a ser utilizadas como autopistas de datos a pesar de que no fueron diseñados para este propósito.

Con una infraestructura de comunicación adecuada es posible la integración de los sistemas de medición, los cuales juegan un papel clave en muchos de los desafíos técnicos relacionados con las redes inteligentes, con la inclusión de energías renovables y en la mejora de las operaciones de facturación y atención al cliente.

“PROSUMIDORES” Y SU PAPEL EN REDES INTELIGENTES

En la visión de redes inteligentes donde la red eléctrica futura es dinámica, descentralizada y se produce electricidad de una manera distribuida, los clientes no sólo son consumidores, sino que también son productores de electricidad, por lo tanto, se les llama “prosumidores” y es posible la interacción bidireccional entre productores, consumidores y otras entidades. Esta interacción se basa en los sistemas de comunicación desarrollados para aplicaciones de redes inteligentes (Rodríguez-Molina, Martínez-Núñez, Martínez, & Pérez-Aguilar, 2014). En la medida en que los equipos inteligentes sean parte de los establecimientos de los consumidores, estos serán capaces de relacionarse con el nodo de comunicaciones de la empresa eléctrica e interactuar con el sistema. Los “Prosumidores” son actores inteligentes del sistema eléctrico, exigen estar informados para hacer su toma de decisiones, exponen su opinión claramente y son más rigurosos con el producto y servicio que brindan y que se les brinda.

CIBERSEGURIDAD EN REDES INTELIGENTES

El establecimiento de *Smart Grid* en las redes eléctricas implica una mayor automatización e interconexión de todos los recursos de la red, posibilitando una gestión energética más eficiente.

En un mundo interconectado, los riesgos de seguridad aumentan, la fiabilidad y la confianza varía según los dominios de la red inteligente y los protocolos que se utilicen. Algunas normas de seguridad son aplicables a ciertos protocolos, mientras que otras se aplican a perfiles particulares. Cuando se transfieren datos cruciales y sensibles, las consideraciones de seguridad deben ser altas para cumplir con la seguridad de la información (confiabilidad, confidencialidad e integridad).

Según el Instituto Tecnológico de la Energía de España, algunos de los retos más importantes de la ciberseguridad de los sistemas eléctricos al implementar redes inteligentes son: establecer una arquitectura de seguridad para proteger la información contenida en todos los dispositivos; proteger los diversos canales de comunicación de datos; establecer medidas de protección para los antiguos sistemas de control e instrumentación industrial; y crear un sistema integral de gestión de la ciberseguridad de la infraestructura y servicios que contemple técnicas de planificación, control, medición y mejora continua de la seguridad informática.

La protección de la información es, por tanto, fundamental para mantener la privacidad de los usuarios y asegurar la correcta integración de todos los sistemas que interactúan en la red eléctrica.

El establecimiento de *Smart Grid* en las redes eléctricas implica una mayor automatización e interconexión de todos los recursos de la red, posibilitando una gestión energética más eficiente.

REDES INTELIGENTES: ESTADO DEL ARTE A NIVEL GLOBAL

Se ha realizado el desarrollo de diferentes proyectos piloto y demostrativos de redes inteligentes en todo el mundo (*International Energy Agency*, 2011). Se ha realizado un esfuerzo significativo por parte de algunos países para invertir en proyectos, centrados básicamente en el uso de tecnologías. Los proyectos piloto en curso incluyen aplicaciones como la generación distribuida, tecnologías de control y la gestión de la demanda a través de medidores inteligentes. Estos proyectos se han llevado a cabo a pequeña escala y se han aplicado sólo a consumidores limitados. Las aplicaciones que implican la información y la comunicación están siendo utilizadas en un número cada vez mayor de proyectos de redes inteligentes, con lo que se consigue una mayor dependencia de las Tecnologías de Información y los sistemas de gestión de datos para permitir el funcionamiento en red.

De acuerdo a *Smart Grid Project Outlook 2014* realizado por la European Commission Joint Research Centre, en Europa desde el año 2002 se contabilizan 459 proyectos en desarrollo en los diferentes países, para lo que se han invertido alrededor de €3.15 billones. Se incluyen 210 proyectos de I+D y alrededor de 250 proyectos demostrativos, básicamente de tecnología.

Alemania ha impulsado la implementación de proyectos con energías renovables desde los años 90 y ha implementado un sistema jurídico y normativo para su promoción. El gobierno de **España** ha promovido que las empresas eléctricas utilicen medidores inteligentes sin costo adicional para el cliente. El **Reino Unido** se ha convertido en uno de los mercados más interesantes para la aplicación de redes inteligentes (United Nations, 2016). Hay grandes oportunidades para los innovadores de Tecnologías de Información y Comunicación en la aplicación de redes inteligentes. El marco regulatorio en el Reino Unido está bien desarrollado para financiar su desarrollo, y existe un mercado altamente competitivo para

los servicios de electricidad al por menor y se da cabida a los servicios de eficiencia energética para el consumidor, hay en desarrollo una serie de proyectos demostrativos. **Francia** desarrolló la integración y optimización de la generación distribuida, gestión de la demanda y recursos energéticos renovables, que es un proyecto de demostración de tres años sobre las redes inteligentes.

En **Canadá**, el gobierno de Ontario ordenó la instalación de medidores inteligentes en todos los hogares y empresas de Ontario (*United Nations*, 2016). Existe un alto potencial de crecimiento en este mercado ya que Canadá requiere invertir en la mejora de la infraestructura eléctrica. En **Estados Unidos** el tema está presente en sus políticas de I+D+i, ya sean públicas o en colaboración con empresas privadas. El gobierno, lanzó un programa de investigación por valor de 4.500 millones de dólares sobre *Smart Grid*. A través de la Ley de Recuperación y Reinversión de los Estados Unidos, el Departamento de Energía (DOE) y otros organismos financieros de Estados Unidos han iniciado 99 Subvenciones a la Inversión de Redes Inteligentes y 41 proyectos de demostración de Redes Inteligentes. Además, varios estados de Estados Unidos han iniciado programas de “Ciudades Inteligentes”, que incluyen todos los aspectos del tema para el logro de comunidades sostenibles. (Corporación Andina de Fomento, Banco de Desarrollo de América Latina, 2013)

REDES INTELIGENTES EN AMÉRICA LATINA

Las redes inteligentes y el proceso de integración de la energía renovable son componentes clave en el crecimiento exitoso en el Desarrollo Sostenible de América Latina. Los países de América Latina tienen el potencial de crear tecnologías avanzadas que pueden contribuir al desarrollo sostenible.

La mayor parte del desarrollo de modernización de las redes inteligentes en la mayoría de los países de América Latina se centra en la reducción de las pérdidas no técnicas. También

se hacen esfuerzos en la aplicación de medidores inteligentes y mejora de la infraestructura de medición. Además, el entorno favorable para el desarrollo de las energías renovables hace que la generación distribuida sea uno de los pilares hacia el desarrollo inteligente de la infraestructura eléctrica.

En **Argentina**, como parte de la contribución a la integración de las Redes Inteligentes en el área de Alta Tensión, Energía Argentina SA (ENARSA) están implementando acciones para varios años para obtener un seguimiento activo del equipo asociado con el sistema de transmisión (Congreso Internacional de Distribución Eléctrica (CIDEL), 2014). Además, con el fin de dar un mayor impulso al cambio del modelo de generación se ha puesto en marcha el Programa de Generación Distribuida, creado para responder al reto del desarrollo de las redes inteligentes.

Las redes inteligentes se han convertido en uno de los conceptos más importantes en el sector energético de **Brasil**, ya que el tema ha generado políticas que están alineadas con el crecimiento económico del país. En 2010, muchas empresas de servicios públicos brasileños comenzaron un estudio profundo sobre el tema, con el fin de preparar y administrar su inversión en nueva infraestructura, la investigación y desarrollo y modernización de la red (OLADE, 2012). En la ciudad de Sete Lagoas se utilizó un modelo para implementar un sistema de aranceles hora/tiempo real, reducir los costos y las pérdidas de energía y mejorar la eficiencia y la calidad de la energía. En 2010, la empresa eléctrica AES Eletropaulo invirtió en un proyecto piloto para desarrollar una red de distribución inteligente de integración de la información y de comunicación, así como en equipos avanzados. *Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A.* (CELESC) puso en marcha un proyecto enfocado en la implementación del sistema de medición inteligente en la ciudad de Blumenau, cuyo objetivo es servir a 3.670 consumidores.

El gobierno de **Chile** ha definido una estrategia

de energía, indicado en la “Estrategia Nacional de Energía 2012-2030”, publicado por el Ministerio de Energía, donde se promueve el desarrollo de la generación distribuida, las tecnologías de medición inteligente (centrado en Balance Neto) y las redes inteligentes como objetivo.

El sector eléctrico de **Colombia** también se está involucrando con la práctica de modernización de sus redes eléctricas por medio de la implementación de redes inteligentes. En el año 2001 se aprobó una ley para promover las energías alternativas, además desde el punto de vista de la regulación, se llevaron a cabo en 1994 reformas que dividen los costos administrativos del sector eléctrico en generación, transmisión, distribución y comercialización. El país involucra el tema “Colombia Inteligente”, como una iniciativa que responde a la necesidad de mejora de la red eléctrica. De esta manera, la iniciativa reconoce que el sector eléctrico debe articularse de manera significativa con otros sectores, como el transporte, para lograr resultados positivos con mayor impacto para el país. Esta iniciativa se formuló como un amplio foro de discusión que promueve la búsqueda de soluciones, desde la generación hasta el consumo final en base a la búsqueda de un mejor desempeño en consecuencia un mejor servicio a los usuarios, utilizando la nueva propuesta tecnológica. Hoy en día, la iniciativa considera actores relevantes que permiten que los proyectos de investigación y desarrollo integren tanto la oferta de mercado, como desarrollos propios para alcanzar los objetivos del Sector Energético de Colombia basados en facilitar mecanismos de conocimiento, evaluación y adopción de las mejores prácticas que asistan a los objetivos a nivel nacional e internacional nivel. En 2016, se concreta el Mapa de Ruta a través de la definición de las Redes Inteligentes Visión 2030 Colombia, documento realizado por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), que incluye no sólo los retos que debe afrontar el país con el fin de poner en práctica esta visión de redes inteligentes, sino también las tareas y requisitos que deben llevarse a cabo (UPME, 2016).

Costa Rica ha comenzado a mostrar un interés importante en la implementación de redes inteligentes (Instituto Costarricense de Electricidad, 2016). Las empresas locales de distribución aplicaron el Modelo de Madurez del Instituto de Ingeniería de Software. La aplicación de la metodología ayudó a evaluar y diagnosticar la situación actual de las empresas eléctricas con el objetivo de ir hacia un sistema normalizado. Luego se definieron los objetivos hacia el futuro y se desarrolló un plan de trabajo para la implementación de soluciones inteligentes en el servicio eléctrico. El proceso se realizó con el apoyo del Comité Regional de CIER para Centroamérica y El Caribe (CECACIER).

Derivado de la Reforma Energética, el nuevo marco legal de **México**, considera importantes cambios en los temas relacionados con la planeación y operación del Sistema Eléctrico Nacional (SEN); el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM); la eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad y seguridad del SEN; asimismo da especial relevancia a las energías limpias y a la generación distribuida; también considera la incorporación de tecnologías de redes eléctricas inteligentes como un elemento importante que ayudará a conseguir los objetivos planteados sobre la materia (SENER, 2016). El desarrollo de redes inteligentes en el país incorpora la tecnología digital en cada parte de la cadena del sistema de energía (generación, transmisión, distribución y consumo). Han facilitado la incorporación de las energías renovables a la matriz energética mexicana, la cual es capaz de mejorar la condición de desequilibrio entre la oferta y la demanda de electricidad. La Comisión Federal de Electricidad (CFE) está llevando a cabo un proyecto para mejorar el intercambio de datos con el fin de supervisar y controlar los parámetros eléctricos de la red eléctrica mediante el uso de la tecnología inalámbrica. También está desarrollando aplicaciones inalámbricas con el fin de proporcionar los datos asociados con el consumo de energía y el control y seguimiento de las redes de distribución. Asimismo, en México se

han realizado algunas actividades de investigación en torno al tema de las redes inteligentes, el Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (IEE) ha estado trabajando en los últimos años en un programa para ayudar al desarrollo del tema a nivel nacional.



La Secretaría Nacional de Energía de **Panamá** (SNE) ha reconocido la importancia del potencial de las redes inteligentes como motor de la Estrategia Nacional de Energía (Secretaría Nacional de Energía, 2015). Propone realizar un estudio sobre las medidas legislativas, reglamentarias y operativas para adoptar progresivamente los conceptos de redes inteligentes y tecnologías en el sistema de distribución de Panamá, además ha desarrollado políticas para la introducción agresiva de fuentes de energía renovables.

El Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinergmin) de **Perú**, propuso un plan estratégico para la implementación de Redes Inteligentes para el sistema eléctrico del país, el cual contempla la progresiva evolución de la red hacia un nuevo modelo de *Smart Grid* y puntualiza cualitativamente los niveles deseados de penetración de las tecnologías correspondientes. La estrategia incluye la incorporación de todos los agentes en el desarrollo del plan de acción,

basado en la identificación de proyectos pilotos que logren probar funcionalidades y tecnologías, previo al desarrollo regulatorio definitivo para el despliegue masivo de dichas tecnologías. La implementación de estas tecnologías permite al país mejorar la fiabilidad del sistema eléctrico, haciendo posible asegurar la integración de nuevas energías renovables que, junto a la generación distribuida y la gestión de la demanda, permitirán reducir las puntas de potencia y postergar o potenciar las inversiones en generación y redes, muy relevantes en un país con tasas de crecimiento de consumo superiores al siete por ciento anual.

RETOS Y RECOMENDACIONES PARA IMPLEMENTAR LAS REDES INTELIGENTES EN LATINOAMÉRICA

Se demostró que la visión de red inteligente ya empezó a ser considerada en muchos aspectos regulatorios y tecnológicos en los diferentes países de América Latina y el mundo. Sin embargo, la mayoría de los países están apenas en el inicio de un largo trayecto para alcanzar el objetivo de asumir redes eléctricas inteligentes. Hay muchas carencias y deben hacerse esfuerzos con el fin de alcanzar los diferentes objetivos nacionales de la energía (*Economic Commission for Latin America and the Caribbean* (ECLAC), 2012).

Cada país debe desarrollar la hoja de ruta deseada para el desarrollo de tecnologías de redes inteligente, teniendo en cuenta aspectos como la política energética, prioridades de electrificación, estructura del mercado y regulación, condiciones de la red, etc. Son pocos los países de la región que tienen esta etapa concluida o están en el proceso de preparación. Estas hojas de ruta deben contener la visión de la aplicación de las redes inteligentes, el establecimiento de prioridades para su desarrollo y la aplicación de los componentes de las redes inteligentes y tecnologías, la identificación de los obstáculos locales (reglamentación técnica y no técnica),

las acciones que deben ser dirigidas a superar las barreras, el plan de inversiones necesarias para las redes inteligentes y la identificación de las normas que han de adoptarse para el rápido despliegue de las tecnologías.

La disposición de una hoja de ruta por cada país de América Latina, puede suministrar una idea de las características comunes, actuales y futuras de la región, en términos de la matriz energética, pérdidas técnicas y no-técnicas, políticas ambientales y regulación eléctrica, infraestructura del sistema, las reglas del mercado, etc., que permitirá la implementación de redes inteligentes en los países.

Después de la definición de la Hoja de Ruta de la Red Inteligente, se pueden desarrollar las políticas y marcos jurídicos adecuados en los diferentes niveles de responsabilidad. Los gobiernos nacionales y los responsables de las políticas públicas deben elaborar, publicar y difundir las estrategias para hacer frente a los objetivos de seguridad del abastecimiento energético, la mitigación del cambio climático, la competitividad en el mercado, la reducción de las pérdidas y la accesibilidad de la electricidad y los costos. Estas estrategias públicas deberán ayudar al aumento del conocimiento en el tema de redes inteligentes de todos los actores involucrados.

Con una trayectoria clara y una política nacional bien definida sobre las redes inteligentes, es posible el desarrollo y la implementación de proyectos concretos. Sin embargo, el desarrollo de las tecnologías de redes inteligentes implica inversiones importantes. Se debe realizar una visión global de los costos y beneficios en la situación específica de cada país por parte de los diferentes grupos de interés en función de las condiciones de potencia y redes de tecnología, información y comunicación, regulación y el potencial de respuesta del cliente.

Con algunos aspectos normativos y política energética bien definidas, los países latinoamericanos podrían, por lo tanto, hacer los esfuerzos

por desarrollar diferentes proyectos piloto que utilicen tecnologías de redes inteligentes. Muchos proyectos de investigación se llevan a cabo en todo el mundo, de modo que América Latina debe ser consciente de ello, con el fin de evitar duplicaciones al momento de suplir las falencias y las particularidades locales. Existen varias soluciones tecnológicas disponibles, algunas necesitan ser personalizadas para la aplicación específica, mientras que otras todavía necesitan ser desarrolladas. Sin embargo, todo el desarrollo debe ser probado en términos de capacidad, compatibilidad e interoperabilidad en proyectos pilotos a pequeña escala y luego en situaciones reales. Una de las claves para el despliegue de las tecnologías de redes inteligentes es la investigación, el desarrollo y la demostración. La experiencia de nivel superior de la academia en Latinoamérica, los centros de investigación, empresas de servicios públicos, las industrias locales y las autoridades públicas y los reguladores deben unirse a los esfuerzos para construir una cartera de actividades de investigación de redes inteligentes que comprenden proyectos piloto y demostrativos.

Los proyectos de redes inteligentes regionales y las actividades de investigación correspondiente, permiten la creación de capacidades regionales. El desarrollo de la red será posible sólo si se ponen a disposición los conocimientos profesionales necesarios, sin embargo, los recursos humanos que tienen educación en ingeniería eléctrica y capacitación en este tema no son suficientes para garantizar la rotación profesional necesaria. Este requisito de habilidades y conocimientos debe complementarse con un enfoque multidisciplinario, integrando todos los aspectos políticos, técnicos, sociales y de energía relevantes en función de las redes inteligentes. Por lo tanto, se recomienda apoyar nuevos programas de educación a través de las universidades y las instituciones. Los ingenieros locales de América Latina muestran una clara actitud hacia la innovación basada en un enfoque muy práctico y directo. Esta habilidad natural debe ser utilizada para abordar problemas y proyectos que utilizan

un enfoque muy pragmático y la creación de soluciones que se caractericen por su simplicidad, costos bajos y fiabilidad, que puedan ser utilizados para hacer frente al reto tecnológico de las redes inteligentes y su aplicación en los países de la región.

Otro desafío importante para los países de América Latina es la promoción de la normalización. El desarrollo de infraestructura de redes inteligentes se basa en la tecnología de interoperabilidad, que se logra a través de una adecuada estandarización. La prioridad debe ser la utilización de normas internacionales, antes que el desarrollo de normas locales, esto ayuda a evitar la normalización regional que no puede ser integrada en un marco común. Los países latinoamericanos deben aumentar su participación en el proceso de desarrollo de normas para permitir el continuo desarrollo tecnológico necesario para las redes inteligentes. América Latina debe integrar las plataformas existentes o incipientes para permitir el desarrollo y coordinación entre regiones de las normas de las redes inteligentes, establecido mediante asociaciones con las normas internacionales vigentes como IEEE, IEC, NIST, ISO¹, etc., y sus alianzas internacionales o locales. Además, los desarrolladores locales de tecnología deben promover un acceso internacional para bancos de pruebas globales con el fin de verificar la coordinación, la interacción y la interoperabilidad de las soluciones globales de las redes inteligentes. Se debe prestar especial atención en la seguridad de la infraestructura de comunicación y la privacidad de los datos.

Uno de los elementos clave que deben ser considerados cuidadosamente en la mayoría de los países, es la integración de los recursos energéticos renovables. Las redes inteligentes permitirán de forma fácil la participación

1 IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEC: International Electrotechnical Commission; NIST: National Institute of Standards and Technology; ISO: International Organization for Standardization

de las nuevas tecnologías, incluyendo todos los componentes asociados con este tipo de generación. Los países latinoamericanos tienen una interesante oportunidad de utilizar los recursos energéticos no convencionales debido a su gran potencial y disponibilidad. La integración, así como la hoja de ruta de la red inteligente deben estar alineados y analizados cuidadosamente para garantizar la sostenibilidad financiera y tecnológica en el largo plazo.

Por último, el prosumidor quien es en “actor clave” en el proceso de implementación de las redes inteligentes, debe ser tomado en cuenta en varios aspectos. Por lo tanto, es necesario que los gobiernos, empresas eléctricas y principales actores, tengan conciencia acerca del nuevo rol de estos actores en la futura red eléctrica. La comunicación con el cliente es muy importante, teniendo en cuenta que las redes inteligentes implican un impacto social significativo. Consecuentemente, se requiere una participación activa de los consumidores y la creación de la conciencia pública sobre la necesidad de actuar a favor de la evolución de las redes eléctricas. La introducción progresiva de los aparatos inteligentes y las características de automatización del hogar va a cambiar dramáticamente la conciencia de los consumidores de energía. Por lo tanto, es esencial que los consumidores reciban información sobre los beneficios de los medidores inteligentes, las oportunidades de participación en la administración de la demanda y otras tecnologías de redes inteligentes. Por ejemplo, podría ser útil aplicar a nivel de países, una especie de competencia entre ciudades, donde se comprometa a responsables políticos, consumidores de energía, servicios públicos locales, y otros actores interesados, poner en práctica los aspectos clave de la red inteligente como son: generación distribuida, administración de la demanda, uso de electrodomésticos inteligentes, almacenamiento eléctrico y uso de vehículos eléctricos, etc., para ir forjando el camino hacia una perspectiva de futuras ciudades inteligentes.

CONCLUSIONES

A nivel mundial, el proceso de implementación de redes inteligentes es todavía una iniciativa en desarrollo. El estado del arte mostró que aún no se han realizado grandes proyectos con respecto a este tema. Por lo tanto, todavía hay algunas preguntas abiertas sobre el proceso de normalización, selección de aplicaciones de redes inteligentes y aspectos regulatorios.

Los gobiernos de América Latina deben realizar un esfuerzo para definir los objetivos de la modernización de las redes energéticas. Los países de la región, pueden aprovechar la oportunidad de que las “grandes potencias” apenas están desarrollando tecnología sobre el tema, esto representa una oportunidad única para modernizar las redes eléctricas de la región. Da lugar para la innovación y el desarrollo de nuevos conceptos y estrategias que se puedan implementar en el proceso de modernización. La creación de nuevas soluciones, puede representar el desarrollo de una nueva industria y más puestos de trabajo para la región, que aumenten la competitividad del mercado de la energía y que reduzca los costos de las soluciones a implementar.

Los países de América Latina ya están conscientes de la importancia de la implementación de las redes inteligentes en sus redes eléctricas. Entonces, para el 2030 se espera que los países de la región, hayan definido, al menos una visión de red inteligente y hayan desarrollado una hoja de ruta. Es preferible que la visión de cada país se ajuste a una gran iniciativa desarrollada conjuntamente por todos los países a través de asociaciones de energía. Por lo tanto, es necesario que los gobiernos y las organizaciones de energía promuevan la discusión acerca de los objetivos comunes y la situación deseada que se pueda lograr a través de talleres y se utilicen herramientas como el Modelo de Madurez de la Red Inteligente.

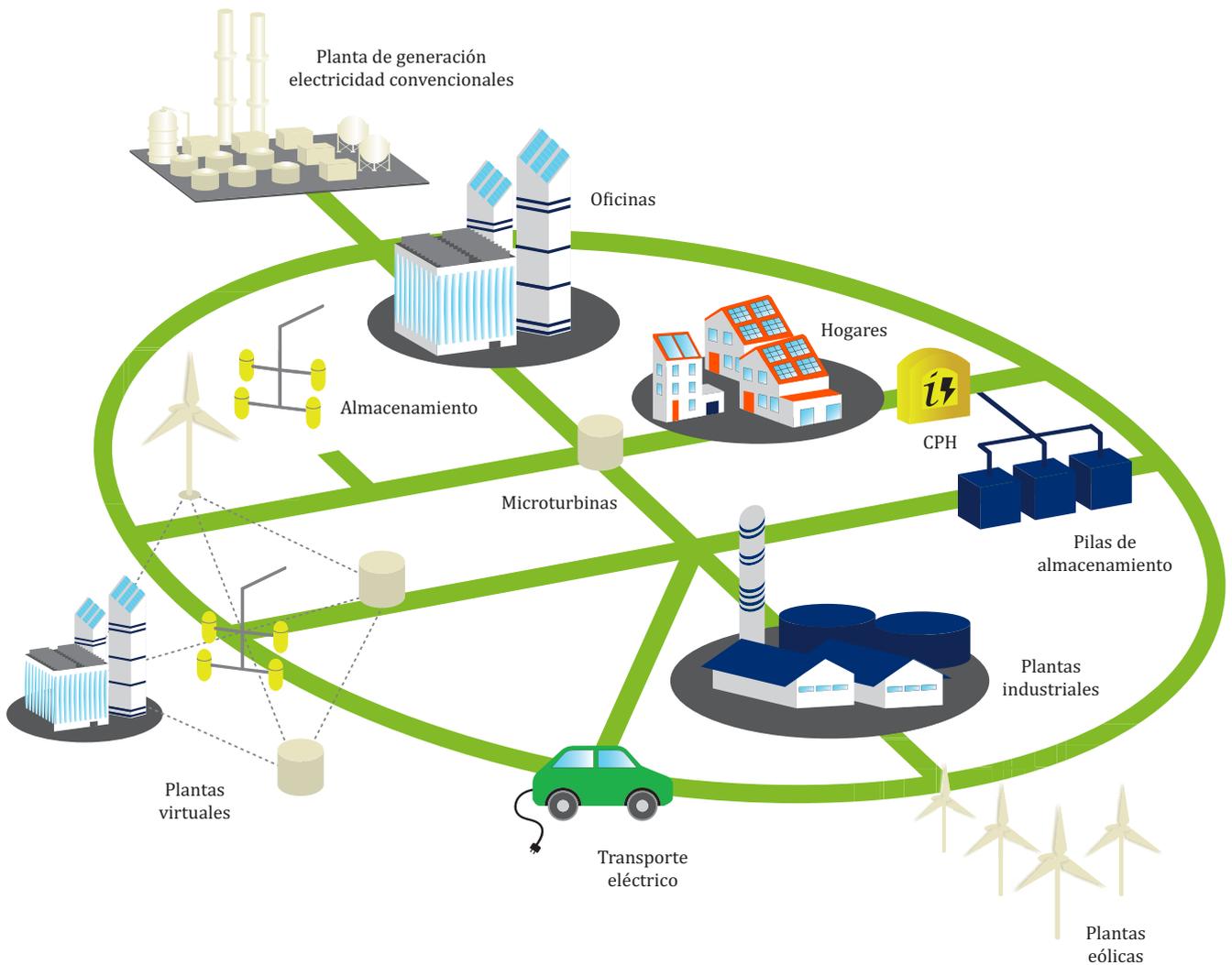
Una vez definida la visión, los gobiernos y entidades energética, deben definir los aspectos reglamentarios y promover el proceso de normalización, que también incluya el incentivo correspondiente para los servicios públicos y los clientes con el fin de facilitar su participación en el proceso de modernización. Es claro, el rol preponderante de los servicios públicos y en especial de los clientes en el proceso de modernización. Por lo tanto, se espera que para el 2030 todos los países tengan un marco completamente definido en torno a la política de las redes inteligentes. Esto incluye la definición de objetivos que incluya el aumento de la eficiencia energética, la fiabilidad del suministro de energía, la reducción de emisiones de CO₂ y el kW de energía renovable integrada en la red. Este último punto representa un objetivo interesante para la implementación de redes inteligentes, especialmente para los países de América Latina con una gran cantidad de energía renovable disponible. Se espera que se implemente políticas sobre el proceso de integración: tarifa de la energía y la negociación del mercado de la energía, la medición bidireccional de la energía y la motivación del cliente de integrar la generación distribuida a nivel de distribución.

Para ese momento, todos los actores del negocio de la energía deberán entender el impacto del éxito de la implementación de las redes inteligentes. Consecuentemente, los clientes deberán tener un conocimiento general sobre el tema y su papel en el proceso de modernización. Este debe ser uno de los objetivos principales, ya que esta modernización implica un cambio completo en la cultura del consumo de energía.

Para el año 2030 los pequeños proyectos piloto deben estar ya probados y los resultados listos para la implementación de proyectos a gran escala. Esto implica que los gobiernos,

los servicios públicos y los proveedores de tecnologías y soluciones lleguen a un consenso con las necesidades locales y los requisitos para las soluciones de las redes inteligentes. Como se mencionó antes, esto representa también una muy buena oportunidad para que los investigadores locales, las universidades y los desarrolladores industriales, puedan contribuir con el desarrollo de esta modernización y promover sus aplicaciones nacionales.

Como recomendación final se sugiere un Foro Regional Permanente, para el intercambio de información técnica, económica y mecanismos de financiamiento para la investigación y desarrollo de redes inteligentes, con el fin de facilitar la implementación de modelos nacionales y/o regionales, colaborar con los países y entidades en el aprovechamiento del financiamiento para los programas y facilitar el aprendizaje a través de estudios de caso.



REFERENCIAS

Corporación Andina de Fomento, Banco de Desarrollo de América Latina, *Energía: una visión sobre los retos y oportunidades en América Latina y el Caribe*, 2013.

Congreso Internacional de Distribución Eléctrica (CIDEL), Argentina, 2014. [En línea]. Available: <http://www.cidel2014.com/sesiones.asp?lang=esp>.

Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC), *Smart grids in Latin America and the Caribbean*, United Nations, 2012

Instituto Costarricense de Electricidad, *Empresas eléctricas costarricenses aplican modelo innovador para redes inteligentes*, July 2016. [En línea]. Disponible: https://www.grupoice.com/wps/portal/ICE/AcercadelGrupoICE/Sala%20de%20prensa/Comunicados-Oficiales/f52377f9-a6ec-4a7f-975b-6bb5377ec086/!ut/p/z0/jY49b8IwEIb_hkyWuekxIbRQhUIkQGJifVSXQ47dZvaIQlf_56kUyfEdLrnfe_ESTMCLr3HwMWAZ7h9Gfqr9Qqebtdit1WYldHGQOIXvWb.

International Energy Agency, *Technology Roadmap Smart Grids*, International Energy Agency, Paris, France, 2011.

J. Gers, *Distribution System Analysis and Automation*, Institution of Engineering and Technology IET, 2013.

J. Rodríguez-Molina, M. Martínez-Núñez, J. Martínez y W. Pérez-Aguiar, *Business Models in the Smart Grid: Challenges, Opportunities and Proposals for Prosumer Profitability*, energies, pp. 6142-6171, 2014.

The European Wind Energy Association, *Balancing Responsibility And Costs of wind power plants*, The European Wind Energy Association, 2015.

OLADE, *BOLETIN INFORMATIVO*, vol. 5, n° 48, 2012.

SENER, México, *Programa de Redes Eléctricas Inteligentes*, 2016

Secretaría Nacional de Energía, *Plan Energético Nacional 2015-2050: Panamá, El futuro que queremos*, 2015

Software Engineering Institute, *Smart Grid Maturity Model Definition: A framework for smart grid transformation*, Carnegie Mellon University, Hanscom AFB, MA, USA, 2011.

U.S. Department of Energy, *SMART GRID: an introduction*, U.S. Department of Energy, 2009

United Nations, *World Economic Situation and Prospects*, 2016.

UPME, *Smart Grids Colombia Visión 2030*, UPME, 2016.

BIBLIOGRAFIA ADICIONAL CONSULTADA

BID, *Las redes inteligentes de energía y su implementación en ciudades sostenibles*, 2012

Bloomberg New Energy Finance, *Q1 2014 Energy Smart Technologies Market Outlook*, 2014.

DNV-GL, *Integration of Renewable Energy in Europe*, 2014.

Electric Power Research Institute, <http://smartgrid.epri.com/>, Smart Grid Resource Center, 2016. [En línea].

EU Commission Task Force for Smart Grids Expert Group 1, *Functionalities of smart grids and smart meters*, EU Commission, 2010.

European Commission, *Integration of Renewable Energy Sources and Distributed Generation in Energy Supply Systems*, European Commission, Belgium, 2001.

EUROPEAN COMMISSION DIRECTORATE-GENERAL FOR ENERGY, *DG ENER Working Paper The future role and challenges of Energy Storage*, European Commission Directorate-General For Energy , 2012.

GTM Research, *Global Smart Grid Technologies and Growth Markets*, 2013. [En línea]. Available: <http://www.greentechmedia.com/research/report/global-smart-grid-technologies-and-growth-markets-2013-2020>.

- Khan, A. Mahmood, N. Javaid, S. Razzaq, R. Khan y M. Ilahi, *Home Energy Management Systems in Future Smart Grids*, p. 9, 2013.
- IEEE, *IEEE Std 2030-2011, IEEE Guide for Smart Grid Interoperability of Energy Technology and Information Technology Operation with the Electric Power System (EPS), End-Use Applications, and Loads*, 2011.
- J. Rey, P. Vergara, G. Osma y G. Ordóñez, *Analysis of the Inclusion of Smart Grids Technology in the Colombian Electric Power System*, de Simposio Internacional sobre Calidad de Energía Eléctrica, Medellín, 2013.
- M. B. Line, I. A. Tondel y M. G. Jaatun, *Cyber security challenges in Smart Grids*, de 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition, Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe), Manchester, 2011.
- M. Milligan, E. Ela, B.-M. Hodge, B. Kirby, D. Lew, C. Clark, J. DeCesaro y K. Lynn, *Cost-Causation and Integration Cost Analysis for Variable Generation*, National Renewable Energy Laboratory, 2011.
- National Institute of Standards and Technology, *NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 3.0*, U.S. Department of Commerce, 2014.
- National Renewable Energy Laboratory, *Issues Affecting Renewable Energy Integration*, National Renewable Energy Laboratory, 2016. [En línea]. Available: <http://www.nrel.gov/electricity/transmission/issues.html>.
- National Renewable Energy Laboratory, *Variable Renewable Generation Can Provide Balancing*, National Renewable Energy Laboratory, Denver West Parkway, Golden, CO, 2013.
- Renewable Energy Policy Network for 21st Century (REN), *RENEWABLES 2016 GLOBAL STATUS REPORT*, 2016.
- Silver Spring Networks, *How the Smart Grid Enables Utilities to Integrate Electric Vehicles*, Silver Spring Networks, 2012.
- U.S. Department of Energy, *2014 Smart Grid System Report*, U.S. Department of Energy, Washington, USA, 2014.
- U.S. Department of Energy, *DOE Microgrid Workshop Report*, Office of Electricity Delivery and Energy Reliability Smart Grid R&D Program, San Diego, California, USA, 2011.
- U.S. Department of Energy, *The Role of Microgrids in helping to advance the Nation's Energy System*, U.S. Department of Energy, 2016. [En línea]. Available: <http://energy.gov/oe/services/technology-development/smart-grid/role-microgrids-helping-advance-nation-s-energy-system>.
- W. Wang y h. Lu, *Cyber Security in the Smart Grid: Survey and Challenges*, Department of Electrical and Computer Engineering, North Carolina State University, Raleigh NC 27606, US., 2012.