

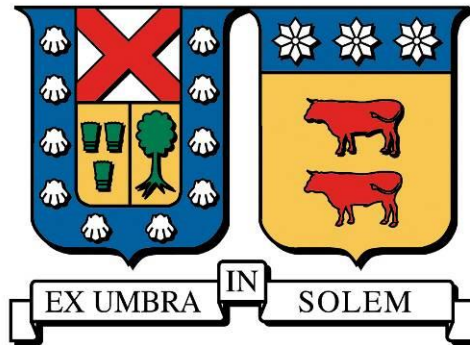
**UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

# **“ANÁLISIS DE EXPERIENCIAS PRÁCTICAS Y RESULTADOS DE REDES INTELIGENTES”**

**Hugo Espinoza Cuéllar**

**MAGISTER EN ECONOMIA ENERGETICA**

**2016**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

# **“ANÁLISIS DE EXPERIENCIAS PRÁCTICAS Y RESULTADOS DE REDES INTELIGENTES”**

Tesis de grado presentada por

**Hugo Espinoza Cuéllar**

como requisito parcial para optar al grado de

**Magister en Economía Energética**

Profesor Guía  
Mg. Ing. Marco Mancilla Ayancán

Profesor Correferente  
Msc. Ing. Wilfredo Jara Tirapegui

Julio 2016

TITULO DE LA TESIS:

**ANÁLISIS DE EXPERIENCIAS PRÁCTICAS Y RESULTADOS DE REDES INTELIGENTES**

AUTOR:

**Hugo Iván Alejandro Espinoza Cuéllar**

TRABAJO DE TESIS, presentado en cumplimiento parcial de los requisitos para el Grado de Magíster en Economía Energética del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María.

Mg. Ing. Marco Mancilla Ayancán.....

Msc. Ing. Wilfredo Jara Tirapegui.....

Santiago, Chile. Julio de 2016

## **DEDICATORIA**

*A mi esposa Ángela y a mis hijas Macarena y Valentina*

*Por todo el tiempo que les robé.*

*A mis padres, Jorge y Patricia*

*Por las herramientas que me dieron para la vida.*

*Hugo Espinoza Cuéllar*

## RESUMEN

La creciente demanda energética, en un contexto de mayor conciencia social acerca del impacto que las actividades humanas están teniendo en el mundo, está generando fuerte presión en los países para garantizar un abastecimiento confiable, seguro y sostenible, base existencial de una economía y sociedad moderna.

Los avances tecnológicos están potenciando la incorporación de fuentes de energía renovables no convencionales y el desarrollo de medidas de uso eficiente de la energía. Las Redes Inteligentes (RI) están permitiendo que los consumidores sean cada vez más protagonistas en la gestión de la demanda.

Las RI son un complemento virtuoso entre la red eléctrica tradicional y las tecnologías de la información y de la comunicación, que pueden controlar los flujos y adaptarse automáticamente a los cambios en la oferta y la demanda.

El propósito de esta tesis es profundizar en la comprensión de las RI, su alcance y grado de desarrollo actual, así como describir las principales barreras que han impedido un despegue más rápido a nivel mundial.

Las RI tienen el potencial de generar muchos beneficios a la economía de un país, favoreciendo a todos, trabajadores, consumidores, empresas y medioambiente. Estos beneficios dependerán de los objetivos estratégicos de cada país, los que podrían ser tan variados como aumentar la eficiencia, mejorar la confiabilidad, estimular las energías renovables, disminuir las emisiones o postergar inversiones. En términos económicos, los beneficios de las RI completamente desplegadas se estiman en 0,7% de PIB.

No obstante, existen barreras regulatorias, tecnológicas, de estandarización, de costos de inversión, de mercado, de modelo de negocio y de apoyo, en países

menos desarrollados, como Chile, que deben superarse porque están retrasando la masificación de las RI.

Un objetivo específico de este trabajo es analizar experiencias prácticas de implementación de RI a nivel nacional e internacional. La cantidad de proyectos e información disponible es amplia, por lo que se presentarán algunos proyectos destacados.

Al comparar el desarrollo de las RI en Estados Unidos y Europa puede observarse gran similitud. En ambas regiones existe amplio apoyo gubernamental a la implementación de tecnologías de RI, así como al desarrollo de planes pilotos de demostración. Existen fondos para subvencionar inversiones, investigación, desarrollo y capacitación. Tienen una visión compartida acerca de los aportes de las RI al sector energético en particular y a la economía en general. Van a la vanguardia en el desarrollo tecnológico.

En cambio en Chile, la situación es menos dinámica. Se han ejecutado pocas experiencias, destacándose los proyectos de micro-red Esuscon en Huatacondo y SmartCity en Huechuraba, éste último enmarcado en el plan de redes inteligentes de Chilectra. Se describirán ambas experiencias.

El análisis de toda la información muestra que las RI tienen una serie de desafíos comunes a nivel internacional. Además de superar las barreras tecnológicas y de estandarización ya mencionadas, está surgiendo con fuerza la necesidad de asegurar la privacidad de los clientes, no sólo protegiéndolos contra las amenazas de virus, “spam” (correo basura) y troyanos (maliciosos), sino que también contra la suplantación de identidad, seguimiento y captura de información. En Estados Unidos ya se detectó problemas con la privacidad de los datos de clientes en RI. Se ha visto vulnerada la información del estilo de vida e incluso el estado de salud de los consumidores, mediante la captura de

datos de uso de electrodomésticos, sensores de movimiento y dispositivos relacionados con la medicina.

En Chile, los desafíos son otros, más básicos. El primero es alinear la visión de futuro respecto a RI. Aquí el Estado tiene un rol coordinador relevante, similar al que tuvo el Ministerio de Energía en la elaboración participativa de la Política Energética. Chile debe crear un marco regulatorio adecuado para el desarrollo de las RI. Otro desafío es mejorar la normativa que fomenta la generación distribuida, aprovechando las ventajas comparativas en materia de fuentes de energía renovables no convencionales. La normativa actual no está dando los resultados esperados.

Este trabajo concluye con el levantamiento de oportunidades que permitan al país enfrentar los desafíos señalados. En primer lugar está el Proyecto de Ley que establece nuevos sistemas de transmisión de energía eléctrica y crea un nuevo ente coordinador. En él se incorpora un proceso de planificación estratégica que debería promocionar nuevas tecnologías, y donde deberían tener cabida las redes inteligentes.

Otra oportunidad la da el Proyecto de Ley de Eficiencia Energética, que se espera sea enviado al Congreso el segundo semestre de este año. La meta nacional es disminuir 20% el consumo proyectado de energía al año 2025 mediante iniciativas de eficiencia. Las RI son claves para este desafío por lo tanto deberían fomentarse explícitamente.

Una tercera oportunidad es la “Política de Ciencia, Tecnología e Innovación en Energía” que el Gobierno se planteó como desafío desarrollar a partir de este año 2016 y que contempla procesos de planificación tecnológica estratégica, donde las RI no estarán al margen.

Por último, Chile debe generar un mecanismo de transferencia de conocimientos, que permita difundir lecciones aprendidas de proyectos de RI, tal como lo hacen los países desarrollados.

Palabras clave: Redes inteligentes, Redes eléctricas inteligentes, Smartcity, Gestión de la demanda, Medidores inteligentes.

## **ABSTRACT**

The growing energy demand in a context of greater social awareness of the impact that human activities are having on the world, is generating strong pressure on countries to ensure reliable, secure and sustainable supply, which is the existential basis of a modern economy and society.

Technological advances are promoting the incorporation of non-conventional renewable sources of energy and the development of measures for its efficient use. Smart Grids (SG) are enabling consumers to increasingly become protagonists in demand management.

The SG are a virtuous complement between the traditional power grid and the information technology and communication, which can control the flow and automatically adapt to changes in supply and demand.

The purpose of this thesis is to deepen the understanding of the SG, their scope and degree of current development, and to describe the main barriers that have prevented a faster takeoff worldwide.

The SG have the potential to generate many benefits to the economy of a country, benefiting all producers, consumers, businesses and the environment. These benefits depend on the strategic objectives of each country, which could be as varied as increasing efficiency, improving reliability, promoting renewable energy, reducing emissions or postponing investments. In economic terms, the benefits of the fully deployed SG are estimated at 0.7% of GDP.

However, there are different types of barriers that must be overcome in less developed countries such as Chile -regulatory, technological, standardization, investment costs, market, business model and support- because they are delaying the massification of SG.

A specific objective of this paper is to analyze practical experiences of implementing SG at national and international level. The number of projects and information available is wide, so some outstanding projects will be presented.

Great similarities can be found when comparing the SG development in the US and Europe. In both regions there is broad government support for the implementation of SG technologies and the development of pilot demonstration plans. There are funds to subsidize investments, research, development and training. They have a shared vision about the contributions of the SG to the energy sector in particular and the economy in general. They are at the forefront of technological development.

In contrast, in Chile, the situation is less dynamic. Fewer projects have been implemented, in particular the micro-network projects ESUSCON in Huatacondo and SmartCity in Huechuraba, the latter framed in the Chilectra SG. Both experiences will be described.

The analysis of all the data shows that the SG have a number of common challenges internationally. In addition to overcoming the aforementioned technological and standardization barriers, the need to ensure the privacy of customers is emerging strongly, not only protecting them against virus threats, spam (junk mail) and trojans (malicious mail), but also against phishing, monitoring and data capture. In the United States, problems with the privacy of customer data in SG have already been detected. The information about the lifestyle and even the health of consumers has been compromised, by capturing data using electrical appliances, motion sensors and medical devices.

In Chile, the challenges are different, more basic. The first one is to align the vision regarding SG. Here the government has a relevant coordinating role, similar to the one the Ministry of Energy took in the participatory development of the Energy Policy. Chile should create an appropriate regulatory framework for

the development of SG. Another challenge is to improve the regulations that encourage distributed generation, exploiting comparative advantages in non-conventional renewable sources of energy. The current regulations are not giving the expected results.

This paper concludes with identifying the opportunities for the country to meet the indicated challenges. Firstly, there is the Bill that establishes new systems of electric power transmission and creates a new coordinating entity. It includes a strategic planning process that should promote new technologies, and where SG should be integrated.

Another opportunity is provided by the Draft Law on Energy Efficiency, which is expected to be sent to Congress the second half of this year. The national goal is to reduce 20% of the projected energy consumption by 2025 through efficiency initiatives. The SG are key to this challenge and should therefore be explicitly encouraged.

A third opportunity is the "Policy on Science, Technology and Innovation in Energy" which the government has set as a challenge to start developing this year 2016 and that provides strategic technology planning processes, where SG will not be on the sidelines.

Finally, Chile must create a system which allows to spread of lessons learned from SG projects, just as developed countries do.

## GLOSARIO

ADR:	Respuesta de la demanda automatizada (Automated demand response)
AES:	Almacenamiento de energía avanzado (Advanced Energy Storage)
AGM:	Herramientas avanzadas para gestión de la red (Advanced Grid Management)
AMI:	Infraestructura de medición avanzada (Advanced metering infrastructure)
ARRA:	Ley de Recuperación y Reinversión Americana (American Recovery and Reinvestment Act)
BESS:	Sistema de almacenamiento de energía mediante baterías (Battery Energy Storage System)
BMS:	Sistema de gestión de edificios (building management system)
BT:	Baja tensión
BT-1	Opción de tarifa simple de energía para clientes cuya potencia conectada sea inferior a 10 kW o la demanda sea limitada a 10 kW, con voltaje inferior a 400 volts (residencial)
CAES:	Almacenamiento de energía con aire comprimido (compressed air energy storage)
CDEC:	Centro de Despacho Económico de Carga, en Chie

CEF:	Instalaciones para la Conexión Europea (Connecting Europe Facility)
CENER:	Centro Nacional de Energías Renovables, España
CERTS:	Consortio para Soluciones Tecnológicas de Confiabilidad Eléctrica (Consortium for Electric Reliability Technology Solutions)
CVR:	Reducción de voltaje de conservación (Conservation Voltage Reduction)
DA:	Distribución automatizada (Distribution Automation).
D&D:	Demostración y despliegue (Demonstration & deployment)
DER:	Recursos de energía distribuida (distributed energy resources)
DG:	Generación distribuida (distributed generation)
DMS:	Sistemas de gestión de la distribución (Distribution Management Systems)
DOE:	Departamento de Energía (Department of Energy), de Estados Unidos
DR:	Respuesta de la demanda (demand response)
DRR:	Recursos de respuesta de demanda (demand response resources)
DSM:	Gestión de la demanda (demand-side management)
DSO:	Operador del Sistema de Distribución (Distribution System Operator), Europa

DTCR:	Evaluación de circuito térmico dinámico (Dynamic Thermal Circuit Ratings)
EAC:	Comité Consultivo de Electricidad (Electricity Advisory Committee) de Estados Unidos
EISA:	Ley de Independencia Energética y Seguridad (Energy Independence and Security Act)
EMS:	Sistema de Gestión de Energía (Energy Management System)
EPRI:	Instituto de Investigación de la Energía Eléctrica (Electric Power Research Institute)
ERCOT:	Consejo de Confiabilidad Eléctrica de Texas (Electric Reliability Council of Texas)
ES:	Almacenamiento de energía (energy storage)
ESF:	Proyecto de Energía Inteligente de Florida (Energy Smart Florida), Estados Unidos
ESIF:	Fondos estructurales y de inversión europeos (European Structural and Investment Funds)
ESUSCON:	Proyecto de Energía Sustentable Cóndor, en Huatacondo.
EV:	Vehículo eléctrico (Electric Vehicle)
FACTS:	Sistemas de transmisión flexibles en corriente alterna (Flexible AC Transmission Systems)
FERC:	Comisión Federal Reguladora de Energía (Federal Energy Regulatory Commission), Estados Unidos

FPL:	Compañía de Luz y Electricidad de Florida (Florida Power and Light Company), de Estados Unidos
FRRS:	Servicio de regulación de respuesta rápida (Fast Responding Regulation Service)
GPS:	Sistema de posicionamiento global (global positioning system)
GPRS:	Comunicación inalámbrica por red celular (general packet radio service)
HAN:	Red de área doméstica (Home-Area Network)
HPC:	Computación de alto rendimiento (high performance computing)
HVDC:	Convertidores de alta tensión de corriente continua (high voltage direct current)
IAE:	Agencia Internacional de Energía (International Energy Agency)
IDAE:	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, de España
IED:	Dispositivos electrónicos inteligentes (Intelligent Electronic Devices)
IHD:	Dispositivos de una casa inteligente (intelligent home devices)
ISO:	Operador del Sistema Independiente (Independent System Operator), en Estados Unidos
IUT:	Transformador universal inteligente (Intelligent Universal Transformer)
I+D:	Investigación y Desarrollo

JRC:	Centro Común de Investigación (Joint Research Centre), de la Comisión Europea
LEA:	Laboratorio de Ensayos de Aerogeneradores (LEA), España
LED:	Diodo emisor de luz (light-emitting diode)
LRAM:	Mecanismo de ajuste de ingresos perdidos (Lost Revenue Adjustment Mechanism)
MT:	Media tensión
MVA:	Megavolt-ampere, potencia aparente
NERC:	Corporación para la Confiabilidad de Norte América (North American Electric Reliability Corporation)
OMS:	Sistema de gestión de detenciones (Outage Management System)
OPI:	Oferta de Potencia de Invierno, de Chilectra.
PHEV	Vehículo eléctrico híbrido con enchufe (Plug-in Hybrid Electric Vehicle)
PIB:	Producto Interno Bruto
PLC:	Transmisión de datos por la red eléctrica (power line communications)
PMU:	Unidad de medición fasorial (Phasor measurement unit)
PSCO :	Compañía de Servicio Público (Public Service Company)
PV:	Sistema fotovoltaico (Photovoltaic)
R&D:	Investigación y Desarrollo (Research & Development)

REFIT:	Tarifa de introducción de energía renovable (Renewable Energy Feed in Tariff)
REMS:	Sistema de gestión de energía residencial (Residential Energy Management System)
RI:	Red Inteligente, Red Eléctrica Inteligente
RTO:	Organización de Transmisión Regional (Regional Transmission Organizations), Estados Unidos
SCADA:	Supervisión, Control y Adquisición de Datos (Supervisory Control And Data Acquisition)
SCCL:	Limitador de corriente de corto circuito (Short-circuit current limiter)
SDAC:	Sistema de desprendimiento automático de carga
SG:	Smart Grids (Redes Inteligentes)
SGDP:	Programa de Planes Pilotos de Redes Inteligentes (Smart Grid Demonstration Program)
SGIG:	Programa de Subvención de la Inversión para Redes Inteligentes (Smart Grid Investment Grants)
SGSR:	Reporte del Sistema de Redes Inteligentes (Smart Grid System Report)
SPS:	Esquemas de protección especial (Special Protection Schemes)
THR:	Tarifa horaria residencial, de Chilectra
TIC:	Tecnologías de la Información y la Comunicación
TEN-T:	Red Transeuropea de Transporte (European Transport Networks)

TSO:	Operador del Sistema de Transmisión (Transmission System Operator), Europa
UE:	Unión Europea
VAR:	Potencia reactiva (voltiamperios reactivos)
VPN:	Red privada virtual (Virtual Private Network)
VPP:	Central eléctrica virtual (Virtual Power Plant)
VSC:	Convertidores de fuentes de voltaje (Voltage Source Converters)
VVO:	Optimizador de voltaje-VAR (Volt-VAR optimization)

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	4
RESUMEN.....	5
ABSTRACT .....	9
GLOSARIO.....	12
ÍNDICE .....	19
ÍNDICE DE FIGURAS.....	26
ÍNDICE DE TABLAS .....	27
1. INTRODUCCIÓN.....	28
2. OBJETIVOS .....	32
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	32
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	32
3. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	33
3.1. Levantamiento de información .....	33
3.2. Análisis de la información recopilada .....	33
3.3. Propuesta.....	33
3.4. Retroalimentación de profesores .....	33
4. DESARROLLO – REDES INTELIGENTES .....	35
4.1. DESCRIPCIÓN .....	35
4.2. ALCANCE .....	36
4.2.1. Infraestructura líneas de suministro .....	36

4.2.2. Los consumidores finales y los recursos relacionados con la energía distribuida.....	36
4.2.3. La gestión de la infraestructura de generación y entrega.....	37
4.2.4. Las redes de información.....	37
4.2.5. El entorno financiero y regulatorio.....	37
4.3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES - OBJETIVOS.....	38
4.3.1. Participación activa e informada de los clientes.....	43
4.3.2. Considera todas las opciones de generación y almacenamiento ...	43
4.3.3. Nuevos productos, servicios y mercados.....	43
4.3.4. Provisión de energía de calidad para las necesidades del siglo XXI	44
4.3.5. Optimización de activos y operación eficiente.....	44
4.3.6. Operación capaz de absorber perturbaciones, ataques y desastres naturales .....	45
4.4. REQUISITOS PARA EL DESARROLLO.....	46
4.4.1. Proyectos pilotos .....	46
4.4.2. Investigación y desarrollo.....	46
4.4.3. Inter-operatividad y estándares.....	47
4.4.4. Análisis y planificación de la red .....	47
4.4.5. Equipo de trabajo especializado .....	47
4.4.6. Compromiso con grupos de interés ( <i>stakeholders</i> ) .....	48
4.4.7. Monitoreo.....	48
4.5. BENEFICIOS.....	48
4.5.1. Disminución del “ <i>peak</i> ” de demanda (demanda punta).....	49

4.5.2.	Disminución de las pérdidas de electricidad.....	49
4.5.3.	Mayor seguridad.....	50
4.5.4.	Evitar robos de energía.....	50
4.5.5.	Transmisión más eficiente de la electricidad.....	50
4.5.6.	Se automatiza la medición del consumo.....	51
4.5.7.	Favorece la generación distribuida.....	51
4.5.8.	Uso de domótica – Casas inteligentes.....	51
4.5.9.	Compensa el envejecimiento de la infraestructura actual.....	52
4.5.10.	Beneficios para las distribuidoras y los clientes.....	52
4.5.11.	Favorece el uso de Energías Renovables intermitentes, a gran escala	53
4.5.12.	Favorece el desarrollo de micro-redes.....	53
4.5.13.	Favorece el uso de los vehículos eléctricos.....	54
4.5.14.	Disminución de las emisiones.....	55
4.5.15.	Menores costos.....	55
4.5.16.	Desarrollo de la industria tecnológica de RI.....	55
4.6.	BARRERAS.....	56
4.6.1.	REGULATORIAS.....	56
4.6.2.	TECNOLÓGICAS.....	58
4.6.2.1.	Vehículos eléctricos.....	58
4.6.2.2.	Almacenamiento de la energía.....	60
4.6.3.	ESTÁNDARES.....	62
4.6.4.	COSTOS.....	63
4.6.5.	DE MERCADO.....	64

4.6.6.	APOYO .....	65
5.	EXPERIENCIAS PRÁCTICAS INTERNACIONALES .....	67
5.1.	Unión Europea (UE) .....	67
5.1.1.	Proyecto: “Arrowhead”. Suecia. ....	71
5.1.2.	Proyecto: “Finesce” (Future INtErnet Smart Utility ServiCEs). Alemania.....	72
5.1.2.1.	Resultados de las pruebas sobre uso de habilitadores genéricos y FIWARE.....	74
5.1.2.2.	Resultados de las pruebas de experimentación técnica.....	74
5.1.3.	Proyecto: “GARPUR”. ( <i>Generally Accepted Reliability Principle with Uncertainty modelling and through probabilistic Risk assessment</i> ).....	78
5.1.4.	Despliegue de la medición inteligente. ....	79
5.2.	Estados Unidos.....	80
5.2.1.	Tennessee: Electric Power Board of Chattanooga (EPB).....	85
5.2.1.1.	Principales resultados [38] .....	86
5.2.1.2.	Lecciones aprendidas .....	86
5.2.2.	Texas: Notrees Battery Storage Project .....	87
5.2.2.1.	Principales resultados [41] .....	88
5.2.3.	California: Tehachapi Wind Energy Storage Project .....	89
5.2.4.	Florida: Energy Smart Florida (ESF).....	90
5.2.4.1.	Evaluación de resultados principales .....	90
5.2.4.2.	Lecciones aprendidas .....	91
5.2.5.	The Pacific Northwest Smart Grid Demonstration Project.....	91
5.2.5.1.	Principales resultados [46] .....	93

5.2.5.2.	Lecciones aprendidas .....	94
5.3.	Caso “controversial” – SmartGridCity™ de Xcel Energy.....	96
5.3.1.1.	Lecciones aprendidas .....	97
6.	DESARROLLO EN CHILE .....	100
6.1.	ESUSCON .....	100
6.2.	SMARTCITY SANTIAGO .....	101
6.2.1.	Plan de redes inteligentes.....	101
6.2.1.1.	Propuestas de valor para los clientes .....	102
6.2.1.2.	Automatización, monitoreo y control de la red.....	104
6.2.1.3.	Comunicaciones y Sistemas.....	105
6.2.1.4.	Eficiencia operativa y gestión de activos y del personal .....	106
6.2.1.5.	Generación distribuida y energías renovables.....	106
6.2.2.	Smartcity Santiago .....	107
6.2.2.1.	Implementación de vivienda inteligente con sistema domótico .	110
6.2.2.2.	Transporte público eléctrico: Buses y taxis .....	110
6.2.2.3.	Instalación de “electrolineras” .....	111
6.2.2.4.	Instalación de medidores inteligentes con comunicación bidireccional entre el medidor y los sistemas informáticos de la compañía.	112
6.2.2.5.	Incorporación de infraestructura eléctrica telecomandada .....	115
6.2.2.6.	Tecnología solar para el calentamiento de agua.....	115
6.2.2.7.	Sistema de generación fotovoltaica.....	116
6.2.2.8.	Letreros de data con mensajería variable en paraderos.....	117
6.2.2.9.	Alumbrado público y semáforos LED .....	117

6.2.2.10.	Iluminación ornamental para áreas verdes.....	117
6.2.2.11.	Wi-fi público de libre acceso y banda ancha para teléfonos celulares	117
6.2.2.12.	Evaluación del plan piloto – percepción de demanda.....	117
7.	COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	118
8.	DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES.....	121
8.1.	Desafíos internacionales .....	123
8.1.1.	Tecnológicos .....	123
8.1.2.	Estándares .....	123
8.1.3.	Privacidad .....	124
8.2.	Desafíos para Chile.....	125
8.2.1.	Visión país .....	125
8.2.2.	Fomentar los proyectos de generación distribuida .....	125
8.2.3.	Equilibrio oferta - demanda.....	126
8.2.4.	Apoyo financiero para planes pilotos e I+D .....	127
8.2.5.	Empresa distribuidora - empresa modelo .....	127
8.2.6.	Capacitación.....	128
8.2.7.	Modelo de negocio.....	128
8.2.8.	Medidores inteligentes.....	129
8.2.9.	Incentivos a la gestión de la demanda.....	130
8.2.10.	Compartir resultados.....	130
8.3.	Oportunidades para Chile .....	131
8.3.1.	Proyecto de Ley: Nuevos Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica y nuevo Coordinador Independiente.....	131

8.3.2. Proyecto de Ley de Eficiencia Energética.....	134
8.3.3. Política de Ciencia, Tecnología e Innovación en Energía .....	136
8.3.4. Chilectra – camino recorrido.....	137
9. CONCLUSIONES.....	138
10. REFERENCIAS .....	146
11. ANEXOS .....	158
ANEXO 1 .....	158
ANEXO 2 .....	168

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución proyectos RI por tamaño inversión.....	68
Figura 2: Total de proyectos europeos en RI .....	69
Figura 3: Inversión por tipo de organización. Izq. Total; Der. Privada.....	69
Figura 4: Distribución de la inversión en RI por aplicación y país.....	70
Figura 5: Equipo doméstico de suministro de energía para EV .....	77
Figura 6: Daño en las líneas provocado por la tormenta de abril de 2011 .....	85
Figura 7: Baterías (izq.) y Sistema de Conversión de Potencia (der.) .....	87
Figura 8: Instalaciones del área de almacenamiento y de la subestación.....	89
Figura 9: Ingresos por Venta de Servicios 2012 .....	103
Figura 10: Productos y Servicios Eficientes, Ecoenergías 2012 .....	104
Figura 11: Plan de Redes Inteligentes de Chilectra .....	107
Figura 12: Smartcity Santiago .....	109
Figura 13: Bus y taxi eléctrico .....	110
Figura 14: Electrolinera .....	111
Figura 15: Piloto de medidores inteligentes.....	113
Figura 16: GPRS .....	113
Figura 17: Tarifa Flexible THR .....	115
Figura 18: Termosifón de Chilectra.....	116

Figura 19: Centro de Operación Smartcity Santiago.....	116
Figura 20: Un proceso de transformación: Smart Grid .....	122

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1: Ámbitos de las pruebas del proyecto Finesce .....	73
Tabla 2: Fondos para financiar RI mediante ARRA.....	82
Tabla 3: Beneficios económicos RI .....	84
Tabla 4: Inversión en RI en Estados Unidos, Unión Europea y Chilectra.....	119
Tabla 5: % Financiamiento inversión en RI en Estados Unidos y UE .....	120
Tabla 6: % Cobertura medidores inteligentes.....	120

## 1. INTRODUCCIÓN

La demanda energética mundial, y particularmente la eléctrica, están creciendo rápidamente debido al aumento de la población, a la urbanización y al mayor grado de modernización que están alcanzando países emergentes. Se estima que actualmente un quinto (17%) de la población mundial no tiene acceso a la energía eléctrica y que la demanda de electricidad del planeta se triplicará hacia el año 2050. [1] [2]

Por otro lado, según datos de la Agencia Internacional de Energía, dos tercios de la capacidad de generación eléctrica mundial se basan en combustibles fósiles. Esto al menos tiene dos efectos directos, en primer lugar, fuerte exposición a las variaciones del precio internacional de esos combustibles, particularmente en países importadores netos; y, en segundo lugar, emisiones de gases causantes del efecto invernadero (cambio climático).

En un contexto de mayor conciencia social acerca del impacto que las actividades humanas están teniendo en el planeta, el sector energético mundial enfrenta la presión de garantizar un abastecimiento confiable, seguro y sostenible, base existencial de una economía y sociedad moderna.

Para ello, hasta ahora, el paradigma clásico ha sido aumentar la capacidad de generación, transmisión y distribución, vale decir ajustar la oferta de energía eléctrica. Sin embargo, en el ámbito las Redes Inteligentes (RI), se están desarrollando avances tecnológicos que proporcionarán a los consumidores mayor protagonismo en la gestión de la demanda, lo que ayudará a disminuir el consumo en horas punta y diferir nuevas inversiones.

Las RI representan un nuevo modelo de desarrollo tecnológico que cambia la interrelación entre los actores del sistema de generación y consumo de

electricidad, dando mayor participación a estos últimos, los consumidores, mediante las posibilidades que otorgan las tecnologías de la información.

Se espera que las RI potencien la eficiencia energética y permitan la incorporación eficiente de fuentes de energía renovables, para reemplazar la generación de energía basada en combustibles fósiles tradicionales.

Las RI en el mundo aún se encuentran en etapa de desarrollo de planes pilotos, laboratorios o proyectos de investigación. Si bien el concepto ya tiene décadas, su incorporación masiva y madurez en el mercado eléctrico mundial está lejos de alcanzarse.

Sin embargo, en Chile el concepto fue capturado en la “Agenda de Energía 2014”, a través de su incorporación en las líneas de acción y metas. Se planteó un “Plan de Innovación en Energía” que incluye programas de cooperación público-privada para el desarrollo de la generación distribuida y de las redes inteligentes. Además, se incorporó en la discusión del nuevo marco regulatorio para el transporte de energía. [3]

A fines del 2015, el Ministerio de Energía emitió la “Política Energética de Chile – Energía 2050”. En dicho documento se señala que los mecanismos de gestión de demanda, en conjunto con las aplicaciones de redes inteligentes, entre otros, contribuirán a alcanzar los objetivos en materia de “Seguridad y Calidad de Suministro”, en un escenario de producción de energía descentralizada y bidireccional, para alcanzar niveles de generación distribuida y gestión de demanda similar a los países de la OCDE.

Además, Chile aspira, según la Política Energética, a que todas las edificaciones nuevas tengan estándares OCDE de construcción eficiente y cuenten con sistemas de control y gestión inteligente de la energía.

A nivel internacional, el siglo XXI ha marcado un fuerte desarrollo de las RI. Existen inversiones públicas y privadas, tanto en modernización de las redes existentes, como en el desarrollo de planes pilotos para comprobar sus beneficios.

En Europa, según el Joint Research Centre, desde el año 2002 se han lanzado más de 450 proyectos, en 47 países, con una inversión superior a los 3.000 millones de euros, focalizada mayoritariamente en cuatro países, Francia, Reino Unido, Alemania y España. En esta tesina se presentarán tres de los más grandes proyectos iniciados en 2013 y se presentarán los resultados del Proyecto Finesce (*Future INtErnet Smart Utility ServiCEs*), liderado por Alemania, llevado a cabo entre 2013 y 2015, cuyo objetivo principal fue desarrollar las tecnologías de la información y comunicación en el sector energético.

Por otra parte, según información del Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE), se estima que la industria eléctrica de ese país invirtió 18.000 millones de dólares en tecnologías de RI entre los años 2010 y 2013, proviniendo prácticamente la mitad de este monto de proyectos apoyados por programas de financiamiento federales. En este reporte se presentarán los aspectos más destacados de cinco proyectos relevantes que están cambiando la forma en que la electricidad se suministra en Estados Unidos.

El primero es el proyecto *Electric Power Board of Chattanooga*, en Tennessee, desarrollado por una de las empresas públicas de distribución de energía eléctrica más grande de Estados Unidos, cuyo propósito fue automatizar la red de distribución de la ciudad.

En segundo lugar se mostrarán los resultados del proyecto *Notrees Battery Storage*, en Texas, que corresponde al mayor proyecto de almacenamiento

de energía eléctrica de América del Norte, para un parque eólico de 153 MW.

El siguiente proyecto que se mostrará es *Tehachapi*, en California, cuyo objetivo es mejorar el rendimiento de la red y contribuir a la integración a gran escala de las fuentes de energías renovables intermitentes, a través del desarrollo de un sistema de almacenamiento de energía mediante baterías.

En cuarto lugar se mostrarán los resultados de unos de los proyectos más grandes financiados por el DOE, *Energy Smart Florida*, cuyo propósito es el despliegue de más de 3 millones de medidores inteligentes avanzados, la automatización de la distribución, un piloto de precios de electricidad y el monitoreo avanzado de equipos de la red de transporte.

Finalmente, se mostrarán los resultados del *Pacific Northwest Smart Grid Demonstration Project*, que atraviesa cinco Estados (Idaho, Montana, Oregon, Washington, y Wyoming) y cubre el proceso completo del sistema eléctrico, desde la generación hasta el consumo final, abarcando áreas relacionadas con recursos de energía distribuida, sistema de distribución, medidores inteligentes y sistemas de clientes.

Y de Chile, se mostrarán las dos experiencias destacadas, la micro-red Esuscon en Huatacondo y SmartCity en Huechuraba, éste último enmarcado en el plan de redes inteligentes de Chilectra.

Con la mirada a estos proyectos seleccionados de Estados Unidos y Europa, más los incipientes avances de Chile, se cubrirá el despliegue en todos los ámbitos de acción de las RI.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Realizar un análisis comparativo de casos internacionales exitosos y de planes pilotos de implementación fallidos o que se han desviado de sus metas y plazos iniciales, con el propósito de determinar las principales causas que han demorado el despegue de las redes inteligentes a nivel mundial y particularmente en Chile.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Describir qué son las Redes Inteligentes y grado de desarrollo actual.
- Descripción de las principales barreras que han impedido un despegue más rápido de las RI a nivel mundial (ejemplo: barreras de mercado, regulatorias, tecnológicas)
- Resumir sus oportunidades y desafíos.
- Detectar y analizar experiencias prácticas de implementación de RI a nivel nacional e internacional.
- Investigar el nivel de desarrollo en Chile (caso Chilectra)
- Comparación cualitativa y económica, y análisis crítico de sus resultados.
- Recomendaciones para Chile.

### **3. METODOLOGÍA DE TRABAJO**

El desarrollo de esta tesina se basó en los siguientes procesos principales:

#### **3.1. Levantamiento de información**

En esta etapa se levantó información disponible en la web, relacionada con redes inteligentes, principalmente sitios de organismos gubernamentales nacionales e internacionales, memorias académicas, notas de prensa y estudios públicos.

#### **3.2. Análisis de la información recopilada**

Se analizó el material recopilado, seleccionando el más adecuado para los objetivos de la tesina.

Uno de los primeros resultados del análisis de la información consistió en calibrar el alcance de la tesina, con el propósito de adecuar los objetivos a las reales posibilidades de alcanzarlos con la información pública disponible en el lapso de un semestre. Todo ello, sin modificar la intención de aportar al conocimiento en términos de mostrar los beneficios que las RI ofrecen al país y resumir las principales barreras que han debido enfrentar y que han impedido su desarrollo y masificación con la velocidad esperada.

#### **3.3. Propuesta**

Con base en toda la información obtenida se realizó la redacción de los capítulos y se envió los informes de avance a los profesores guía y correferente.

#### **3.4. Retroalimentación de profesores**

En base a las sugerencias realizadas por los profesores, se realizaron los ajustes, cambios o complementos necesarios, para ir puliendo el material, en pos de alcanzar al término del semestre el resultado esperado.

Estos procesos no fueron estrictamente secuenciales, sino que recursivos. El levantamiento de información se realizó mayoritariamente al inicio del semestre, pero fue complementado, de acuerdo a las necesidades, durante todo el proyecto.

## **4. DESARROLLO – REDES INTELIGENTES**

### **4.1. DESCRIPCIÓN**

Existen muchas definiciones de Red Inteligente (RI).

Según la Comisión Europea, las Redes Inteligentes son las redes de energía que pueden controlar los flujos y adaptarse automáticamente a los cambios en la oferta y la demanda. [4]

El Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) explica que las RI están compuestas por la red eléctrica y por las tecnologías de la información y comunicación (TIC) que permiten la comunicación bidireccional entre el generador y sus clientes. La RI consiste en controles, computadores, equipos de automatización y nuevas tecnologías que, en conjunto, harán que la red eléctrica pueda responder rápidamente a la cambiante demanda eléctrica. Esto permitirá construir un nuevo tipo de red eléctrica, uno que se construya desde abajo hacia arriba, desde las necesidades cada vez más complejas de la demanda. [5]

De ahí se desprende que la red eléctrica es todo el sistema de transporte y distribución que lleva la electricidad desde los productores a los consumidores, incluyendo líneas y subestaciones. Pero las TIC son la clave, ya que aportan productos, servicios y tecnologías avanzadas de comunicación bidireccional, monitoreo y control. Es lo que hace que la red eléctrica sea inteligente.

La Agencia Internacional de Energía (IAE) señala en su página web que las redes inteligentes son redes que controlan y gestionan el transporte de electricidad a partir de todas las fuentes de generación para satisfacer la demanda de electricidad variante de los usuarios finales. Estas RI se están desplegando en el mundo a ritmos diferentes y con una variedad de configuraciones, dependiendo del atractivo comercial local (beneficio

económico), la compatibilidad con las tecnologías existentes y marcos regulatorios de desarrollo y de inversión. [6]

Así, las RI no son “una” tecnología, sino que representan un nuevo modelo de desarrollo tecnológico que cambia la interrelación entre los actores del sistema de generación y consumo de electricidad, dando mayor participación a estos últimos, los consumidores, mediante las posibilidades que otorgan las tecnologías de la información. Las RI no constituyen una revolución rápida, sino que una evolución lenta, un largo camino por recorrer, un proceso de integración eficiente de todas las áreas que definen su alcance y que se presentan más adelante.

## **4.2. ALCANCE**

Si se usa los criterios del DOE para determinar el alcance de una red inteligente, las áreas del sistema eléctrico cubiertas son: [7]

### **4.2.1. Infraestructura líneas de suministro**

- Líneas de transmisión y distribución
- Transformadores
- Interruptores

### **4.2.2. Los consumidores finales y los recursos relacionados con la energía distribuida**

- Consumo residencial, comercial e industrial
- Generación distribuida: tecnologías de generación de pequeña escala, por ejemplo energía solar, eólica, cogeneración, hidráulica o

nuevas tecnologías, que proporcionan electricidad en puntos más cercanos al consumidor y que están conectadas a la red de distribución.

- Almacenamiento
- Vehículos eléctricos

#### **4.2.3. La gestión de la infraestructura de generación y entrega**

- Centros de control de transmisión y distribución (en Estados Unidos: RTOs e ISOs, en la Unión Europea: TSOs y DSOs, en Chile: CDEC)
- Centros de coordinación de la confiabilidad regional
- Centros nacionales de respuesta a emergencias

#### **4.2.4. Las redes de información**

- Redes de comunicación de medición y control remoto
- Comunicaciones inter e intra-empresa
- Internet

#### **4.2.5. El entorno financiero y regulatorio**

Estimula la inversión y motiva a los tomadores de decisión a adquirir, implementar y mantener todos los aspectos del sistema (por ejemplo, los mercados de acciones y bonos, incentivos gubernamentales).

El año 2015 el Comité Consultivo de Electricidad (EAC, Electricity Advisory Committee) de Estados Unidos, en el marco de una serie de recomendaciones sobre necesidades de apoyo para investigación y desarrollo en RI, envió al DOE una lista de tecnologías avanzadas en condiciones de ser usadas comercialmente, complementadas con otras a las que les falta apoyo para su madurez. [8]

Ese listado contempla tecnologías asociadas a líneas de transmisión y subestaciones, a distribución, al consumo, a la seguridad cibernética y a las comunicaciones e interoperabilidad. En el Anexo 1 se presenta el detalle con las recomendaciones para cada una de ellas.

#### **4.3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES - OBJETIVOS**

Desde 2005 a 2007, con la coordinación del DOE, Estados Unidos trabajó en siete talleres regionales a lo largo de todo el país, involucrando a reguladores, generadores, proveedores, legisladores, instituciones de investigación, universidades y otras partes interesadas para forjar una visión común y el alcance de la incipiente red inteligente del país.

La Sección 1301 de la Ley de Independencia Energética y Seguridad (EISA, por sus siglas en inglés) de la legislación federal de los Estados Unidos, del año 2007, señala que su política es apoyar la modernización del sistema de transmisión y distribución de energía eléctrica de la nación para mantener una infraestructura eléctrica confiable y segura que pueda satisfacer el crecimiento futuro de la demanda y alcanzar cada uno de los siguientes objetivos, que en conjunto caracterizan una red inteligente:

1. Aumento en el uso de tecnologías de información digital y controles para mejorar la confiabilidad, la seguridad y la eficiencia de la red eléctrica.

2. Optimización dinámica de las operaciones y de los recursos de la red, con completa seguridad cibernética.
3. Despliegue e integración de los recursos y la generación distribuida, incluidos los recursos renovables.

En la industria se ha usado indistintamente los conceptos “generación distribuida” (DG, Distributed Generation), “energía distribuida” o “recursos de energía distribuida” (DER, Distributed Energy Resources). Sin embargo lo correcto es hacer la distinción. DER es el concepto más amplio, que no solamente incluye DG, sino que además contempla almacenamiento de energía (ES, energy storage), gestión de demanda (DSM, demand-side management) y la posibilidad de conectar a futuro los vehículos eléctricos híbridos con enchufe (PHEV, Plug-in Hybrid Electric Vehicles) o completamente eléctricos (EV, electric vehicles).

La DSM consiste en la planificación, ejecución y monitoreo de las actividades de las empresas eléctricas que están diseñadas para alentar a los consumidores a modificar su nivel y patrón de consumo de electricidad.

DER consiste en una variedad de dispositivos de menor escala y modulares, diseñados para proporcionar electricidad, y a veces energía térmica, en o cerca de los puntos de consumo. Incluyen tecnologías fósiles, principalmente gas natural, y energía renovable (por ejemplo, paneles fotovoltaicos, turbinas eólicas, microturbinas a gas, motores de combustión interna, celdas de combustible); dispositivos de almacenamiento de energía (por ejemplo, baterías y volantes de inercia); y sistemas de cogeneración. DER también incluye las interfaces electrónicas, así como los dispositivos de

comunicación y control del sistema. Puede servir a una sola estructura, tal como una casa o negocio, o puede ser parte de una micro-red, como una gran instalación industrial, una base militar o un gran campus universitario. A medida que la red eléctrica se continúa modernizando, nuevas tecnologías de almacenamiento y de fuentes renovables facilitarán la transición hacia una red más inteligente.

Los límites de potencia para la generación distribuida varían en cada país. En Estados Unidos fluctúan entre 1 kW y decenas de MW, dependiendo del Estado. En España, hasta 50 MW. En Chile el límite de los pequeños medios de generación distribuida (PMGD) es hasta 9 MW, y para los clientes residenciales, de acuerdo a la ley 20.571, que regula el pago de las inyecciones de excedentes a la red realizada por pequeños medios de generación renovables en baja tensión, la capacidad instalada del cliente o usuario final no puede superar los 100 kW. En Brasil el límite también es 100 kW de potencia (microgeneración).

La DER ofrece soluciones a muchos problemas apremiantes de energía eléctrica, incluyendo los apagones y caídas de tensión, preocupación por la seguridad de la energía, problemas de calidad de energía, las normas de emisiones más estrictas, congestión y pérdidas en las líneas de transmisión y distribución, y el deseo de un mayor control sobre los costos de energía. [9]

4. Desarrollo e incorporación de respuesta de la demanda, recursos de la demanda, y los recursos de la eficiencia energética.

Para clarificar, por respuesta de la demanda (DR, demand response) se entiende la modificación intencional de los patrones de uso normal de la electricidad que hacen los consumidores finales en respuesta a

los precios de mercado, incentivos financieros o durante los desequilibrios del sistema. [10]

Por su parte, los recursos de respuesta de demanda (DRR, demand response resources), si bien inicialmente fueron desarrollados para ayudar a mantener la confiabilidad del sistema eléctrico durante las horas punta, actualmente ofrecen una serie de servicios adicionales que ayudan a apoyar la confiabilidad y eficiencia del sistema eléctrico. Se incluyen, por ejemplo, sensores que pueden detectar problemas de carga máxima y utilizar interruptores automáticos para desviar o reducir la electricidad en lugares estratégicos, eliminando el riesgo de sobrecarga y la falta de energía resultante; infraestructura de medición avanzada (AMI, Advanced metering infrastructure) que expande las posibilidades de ofrecer variadas tarifas a los clientes; y avanzados dispositivos para el hogar que permiten a los consumidores cambiar fácilmente su comportamiento y reducir el consumo punta con base en información sobre su consumo y precios. [11]

5. Despliegue de tecnologías inteligentes (información en tiempo real, automatización, tecnologías interactivas que optimizan el funcionamiento físico de los aparatos y dispositivos de consumo) para la medición, las comunicaciones relativas a las operaciones y status de la red, y automatización de la distribución.
6. Integración de los aparatos inteligentes y los dispositivos de consumo.
7. Despliegue e integración de tecnologías avanzadas de almacenamiento de electricidad y de regulación de la carga máxima, incluidos los vehículos eléctricos “enchufables” e híbridos, y aire

acondicionado con almacenamiento térmico (que activa las bombas de calor durante la noche, cuando la demanda de energía es baja, para almacenar energía térmica en forma de agua helada, hielo y agua caliente, para que pueda ser utilizada durante el día, cuando el precio es alto).

8. Provisión a los clientes de información y opciones de control oportunas.
9. Desarrollo de estándares para la comunicación y la interoperabilidad de los aparatos y equipos conectados a la red eléctrica, incluyendo la infraestructura de servicio de la red.
10. Identificación y reducción de las barreras no razonables o innecesarias para la adopción de las tecnologías, prácticas y servicios de redes inteligentes

Posteriormente, en 2008, el DOE organizó un nuevo taller sobre "La implementación de la red inteligente", y sus resultados se utilizaron para organizar la información sobre el progreso de las redes inteligentes en torno a seis características. El reporte fue presentado al Congreso acorde a lo señalado en la sección 1302 de la EISA, que ordena a la Secretaría de Energía informar sobre el estado de las implementaciones de las redes inteligentes en todo el país y de los obstáculos regulatorios o gubernamentales para su despliegue continuo. Para ello, cada dos años el DOE emite el "Reporte del Sistema de Redes Inteligentes" (SGSR, por sus siglas en inglés). A la fecha se han emitido cuatro, siendo el último de agosto de 2014. [12]

Las seis características señaladas son: [13]

#### **4.3.1. Participación activa e informada de los clientes**

Los consumidores se convierten en una parte integral del sistema de energía eléctrica. Ayudan a equilibrar la oferta y la demanda, y a dar un suministro confiable, modificando la forma en que utilizan y compran la electricidad.

Estos cambios en los patrones de consumo se deben a que los consumidores tienen opciones generadas por las nuevas tecnologías, nueva información sobre forma de uso de la electricidad, y nuevas formas de fijación de precios y de incentivos.

#### **4.3.2. Considera todas las opciones de generación y almacenamiento**

La red inteligente no sólo considera grandes centrales de generación, sino que también incluye la creciente gama de recursos de generación distribuida. La integración de ellos aumentará rápidamente a lo largo de la cadena de valor, desde los proveedores hasta los clientes, e incluirá las energías renovables, la generación distribuida y el almacenamiento de energía.

#### **4.3.3. Nuevos productos, servicios y mercados**

Los mercados que están diseñados correctamente y operados de manera eficiente dan a los consumidores oportunidades para crear ofertas de servicios competitivos. Algunas de las variables que deben ser explícitamente gestionadas son la energía, capacidad, ubicación, tiempo, tasa de cambio, y la calidad. El mercado tiene un papel importante en la gestión de estas variables. Los reguladores, los propietarios / operadores y

los consumidores necesitan flexibilidad para adaptarse a las condiciones de funcionamiento y de mercado.

#### **4.3.4. Provisión de energía de calidad para las necesidades del siglo XXI**

No todas las empresas comerciales, y ciertamente no todos los clientes residenciales, necesitan la misma calidad de la energía. Una red inteligente proporciona diferentes grados de potencia con precios variables. El costo de la energía de alta calidad puede ser incluido en el contrato de suministro. Métodos avanzados de control que monitorean los componentes esenciales, posibilitan un diagnóstico rápido y soluciones precisas ante eventos que afectan la calidad, como por ejemplo la caída de rayo, el cambio de las mareas, fallas en las líneas y las fuentes armónicas. Una red inteligente también ayuda a amortiguar el sistema eléctrico de las irregularidades causadas por cargas electrónicas de los consumidores.

#### **4.3.5. Optimización de activos y operación eficiente**

Una red inteligente aplica las últimas tecnologías para optimizar el uso de sus activos. Por ejemplo, gestionar continuamente las capacidades óptimas de carga. La mantención eficiente consiste en obtener un estado confiable de equipos o condición óptima. Este estado se puede alcanzar con un mantenimiento basado en la condición, lo que indica la necesidad de mantenimiento de los equipos, precisamente en el momento adecuado. Dispositivos de control del sistema se pueden ajustar para reducir las pérdidas y eliminar la congestión. La eficiencia de la operación aumenta cuando se suministra la energía de menor costo disponible a través de estos ajustes de los dispositivos de control del sistema.

#### **4.3.6. Operación capaz de absorber perturbaciones, ataques y desastres naturales**

Capacidad para reaccionar a los eventos, aislando los elementos problemáticos mientras que el resto del sistema se restaura al funcionamiento normal. Estas acciones de recuperación automática disminuyen las interrupciones del servicio a los clientes y ayudan a los proveedores a gestionar mejor la infraestructura de suministro. Estas amenazas incluyen ataques físicos y cibernéticos. Una red inteligente se ocupa de la seguridad desde el principio, como un requisito para todos los elementos, y garantiza un enfoque integrado y equilibrado en todo el sistema.

En el caso de la Unión Europea, los objetivos de la RI son prácticamente los mismos de Estados Unidos, redactados con algunos matices. Sólo es importante destacar que agregan explícitamente: fomentar la integración del mercado europeo. [14]

Todas estas características funcionales u objetivos de la RI tienen como propósito final garantizar un suministro de energía eléctrica limpio (“descarbonizado”), asequible (bajo costo), de mayor calidad (confiable) y seguro (capacidad para responder a contingencias).

#### **4.4. REQUISITOS PARA EL DESARROLLO**

Como propuesta metodológica, el DOE plantea una serie de requisitos que se deben abordar en el proceso de desarrollo de las RI: [15]

##### **4.4.1. Proyectos pilotos**

El Programa de Planes Pilotos de Redes Inteligentes (SGDP, Smart Grid Demonstration Program) permitirá al DOE invertir 680 millones de dólares, que sumados a otros 900 millones de dólares de inversión privada, son destinados a 32 casos pilotos de redes inteligentes y de almacenamiento de energía, cuyo propósito es demostrar en la práctica el funcionamiento de las nuevas y más rentables tecnologías, herramientas, técnicas y configuración de sistemas de redes inteligentes que mejoren significativamente lo que se usa en la actualidad. Evidentemente estos pilotos deben usar los avances que se hacen en el área de investigación y desarrollo.

##### **4.4.2. Investigación y desarrollo**

Un segundo pilar son las actividades de investigación y desarrollo para promover las funcionalidades de RI, mediante el impulso de tecnologías y herramientas de última generación, innovadoras en las áreas de transmisión, distribución, almacenamiento de energía, electrónica de potencia, ciberseguridad y el progreso en la medición de parámetros precisos de la red eléctrica.

#### **4.4.3. Inter-operatividad y estándares**

Un tercer requisito metodológico es trabajar en actividades de interoperabilidad y en la implementación de estándares para asegurar que los nuevos dispositivos funcionen en un entorno seguro cuando las tecnologías digitales innovadoras se desplieguen a través de la red, promoviendo la seguridad económica y energética del país. El proceso de interoperabilidad de la RI debe conducir a estándares flexibles, uniformes y de tecnología neutral, que permitan la innovación, mejoren las opciones de los consumidores y logren economías de escala. Todas estas actividades de interoperabilidad y estándares no se limitan sólo a la información técnica, sino que deben considerar también los procesos de negocio, mercados y el entorno regulatorio.

#### **4.4.4. Análisis y planificación de la red**

Las actividades de planificación y análisis de la interconexión generan mayor certidumbre permitiendo identificar requisitos de transmisión dentro de una amplia variedad de alternativas (por ejemplo, la aplicación intensiva de las tecnologías de la demanda) y el desarrollo de los planes de expansión de largo plazo de la transmisión.

#### **4.4.5. Equipo de trabajo especializado**

Proveer trabajadores altamente calificados para las operaciones de la red inteligente. Un ejemplo de ello es la participación de la Oficina de Energía del DOE con el Consorcio para Soluciones Tecnológicas de Confiabilidad Eléctrica (CERTS) y un consorcio de laboratorios nacionales, de universidades y de la industria, para investigar, desarrollar y difundir nuevos métodos, herramientas y técnicas para proteger y mejorar la confiabilidad

del sistema de energía eléctrica del país y la eficiencia de los mercados eléctricos competitivos.

#### **4.4.6. Compromiso con grupos de interés (*stakeholders*)**

Actividades de extensión y compromiso con los grupos de interés permiten identificar las necesidades de investigación y desarrollo (I+D) para la planificación, intercambio de lecciones aprendidas e intercambio de datos técnicos y de costos.

#### **4.4.7. Monitoreo**

Mediante el monitoreo de indicadores se supervisa el progreso nacional en los desafíos de la red inteligente. En el anexo 2 se observa el detalle.

### **4.5. BENEFICIOS**

Hay muchas esperanzas puestas en las RI, ya que se le atribuyen muchos beneficios que redundarán en una industria energética de mayor calidad, más segura, eficiente y sustentable económica y medioambientalmente. Estos beneficios impactarán positivamente en la economía de cada país, favoreciendo a todos los actores del sistema, generadores, transmisores, distribuidores, comercializadores y consumidores.

Los beneficios dependerán del modelo, sistema o arquitectura que las RI adopten en cada país. Y esto a su vez dependerá de las motivaciones u objetivos estratégicos definidos: reducir el consumo de energía, aumentar la automatización, mejorar la confiabilidad y seguridad, mejorar la eficiencia, estimular las energías renovables y el desarrollo sustentable.

A continuación se detalla un listado de beneficios que se reiteran permanentemente en la bibliografía consultada. Muchos de ellos están interrelacionados, vale decir, pueden ser explicados como consecuencia de otros beneficios. Por ejemplo, la disminución del costo de inversión para renovar la infraestructura eléctrica, siendo un beneficio en sí mismo, también es el resultado de otra característica positiva de las RI, que también se detalla en esta lista, la gestión de la demanda que los consumidores podrán realizar con las nuevas tecnologías de información y comunicación.

#### **4.5.1. Disminución del “*peak*” de demanda (demanda punta)**

El uso de medidores inteligentes proporcionará a los consumidores información sobre su consumo en tiempo real, lo que les permitirá tener una participación activa, e inteligente también, en la gestión de su demanda, generando ahorros en la “cuenta de la luz” estimados en un 20%, como consecuencia del traspaso de consumo desde horas en que la demanda es mayor y las tarifas son altas, a horas de consumo valle en que las tarifas eléctricas son inferiores. [16].

Además, al aplanar la curva de carga del sistema, se puede disminuir o postergar los costos de inversión en nuevas centrales eléctricas para abastecer la demanda de punta.

#### **4.5.2. Disminución de las pérdidas de electricidad**

La generación distribuida permitirá acercar la generación al consumo, evitando las pérdidas que se producen por las ineficiencias propias de los procesos de generación y las pérdidas que se originan en las líneas de transmisión y distribución. Disminuirá la congestión de las redes,

reduciendo o aplazando inversiones en redes de distribución. Se estima que la energía generada en el propio hogar tiene tasas de aprovechamiento superiores al 90%. [16]

#### **4.5.3. Mayor seguridad**

Se incrementa la confiabilidad del sistema con una mayor capacidad de auto-diagnóstico y auto-recuperación, a través de la incorporación de nuevos sistemas tecnológicos de información, incorporación masiva de sensores, actuadores y esquemas de automatización en todos los niveles de la red, aumentando de paso la vida útil de la infraestructura eléctrica.

Protección a los consumidores contra los cortes de suministro, ya que la red de tecnología inteligente puede aislar la fuente del problema y direccionar los flujos. Se evitan los apagones masivos, con un enfoque preventivo, reposición semiautomática y eventualmente rápida autorecuperación.

#### **4.5.4. Evitar robos de energía**

Con la incorporación de “*smart meters*” (medidores inteligentes), las empresas distribuidoras y comercializadoras posibilitan la detección remota y automática de los robos de energía, que se produce por la manipulación de los medidores tradicionales.

#### **4.5.5. Transmisión más eficiente de la electricidad**

Los esquemas de protección especial (SPS, por sus siglas en inglés) son avances tecnológicos desarrollados en los últimos años en el segmento de la transmisión de electricidad que permiten el monitoreo y control global de

las redes eléctricas. Con estas nuevas tecnologías se evita racionamiento en zonas deficitarias debido a congestiones, se maximiza el despacho de fuentes más económicas, se libera la congestión y, en definitiva, se estabiliza el sistema.

#### **4.5.6. Se automatiza la medición del consumo**

El uso de los medidores inteligentes mejora los procesos operativos relacionados con la gestión y monitorización remota de los elementos de medidas, disminuyendo la necesidad de intervenciones manuales en terreno.

#### **4.5.7. Favorece la generación distribuida**

La generación distribuida basada en fuentes de energía renovables permitirá la incorporación masiva de pequeños productores o microgeneración. Diversos sectores, como por ejemplo, el residencial, industrial, comercial, agrícola o turismo, podrían producir electricidad con fuentes de energía renovable no convencional, principalmente eólica o solar fotovoltaica, dependiendo del lugar donde se encuentren, para no sólo disminuir su consumo desde la red (autoproducción), sino que alcanzar un nivel de generación tal que en determinadas horas del día les permitan inyectar energía al sistema. La RI tiene la capacidad de operar en forma dinámica todas las fuentes de energía interconectada.

#### **4.5.8. Uso de domótica – Casas inteligentes**

La domótica es el conjunto de tecnologías inteligentes para el control y monitoreo en tiempo real, de manera local y remota, de los diferentes

aparatos dentro de una vivienda, como por ejemplo, climatización, intensidad de la iluminación, alarmas, sensores de movimiento, acceso a cámaras de vigilancia, cierre de persianas, informes de consumo; aportando a una gestión eficiente del uso de la energía, mayor seguridad, confort y comunicación.

Las grandes compañías de tecnología trabajan para que en el futuro cercano todos los aparatos más cotidianos de una vivienda, dispositivos tecnológicos y electrodomésticos, estén interconectados para proyectar las necesidades de los consumidores, comunicarse entre sí y satisfacerlas. Por ahora, la barrera de la masificación de las casas inteligentes o “Smart homes” está en los precios de los dispositivos y en la identificación de los beneficios económicos asociados. [17]

#### **4.5.9. Compensa el envejecimiento de la infraestructura actual**

La inversión en tecnologías inteligentes es menos costosa que el gasto necesario para la modernización de la red eléctrica convencional. En el Reino Unido, Ernst & Young estimó que se requerirían 46.000 millones de libras entre los años 2012 y 2050 para modernizar la red eléctrica con tecnologías convencionales y sólo 27.000 millones si se usa tecnología de RI. [18]

#### **4.5.10. Beneficios para las distribuidoras y los clientes**

Las empresas de distribución vanguardistas en la implementación de tecnología de redes inteligentes capturarán beneficios tales como satisfacción del consumidor, rápida respuesta ante cortes inesperados,

excelencia en calidad técnica y comercial, eficiencia en costos operacionales, mejor uso de activos, liderazgo en innovación. [19]

Naturalmente, estas ventajas de las empresas distribuidoras son beneficios también para los consumidores.

#### **4.5.11. Favorece el uso de Energías Renovables intermitentes, a gran escala**

Su integración masiva a las RI se logrará usando nuevos modelos climáticos predictivos. A su vez, esto permitirá reducir el “funcionamiento en reserva” de las plantas de generación con mayor impacto en el medioambiente, que deben operar a mínimos técnicos con el propósito de inyectar energía rápidamente cuando la demanda aumenta. [20]

También, la integración de las fuentes de energías renovables favorecerá la creación de nuevas fuentes de trabajo. [21]

#### **4.5.12. Favorece el desarrollo de micro-redes**

Son una buena alternativa tecnológica para avanzar hacia el desarrollo de RI, sólo que a menor escala.

Una micro-red es un sistema con recursos de energía distribuida, almacenamiento y cargas controlables, que puede operar generalmente conectada a la red eléctrica principal, pero que también puede desconectarse para operar de forma autónoma, ayudando a mitigar las perturbaciones y fortaleciendo su capacidad de recuperación. De hecho, estos últimos atributos han aumentado el interés en su desarrollo para proporcionar energía dedicada y capacidades de funcionamiento en isla durante las emergencias. En Estados Unidos, analistas de la industria

predicen que la capacidad de generación en ese país puede llegar a casi 6 gigavatios (GW) en 2020, frente a los 992 MW que habían en 2013 (capacidad total: 1.200 GW). Sin embargo, las interacciones óptimas entre la red y la micro-red, y las funciones propias de las micro-redes requerirán sistemas más sofisticados e inteligentes, que usen tecnologías avanzadas de sensores, interruptores y controles, que integren efectivamente las tecnologías de distribución automatizada y generación distribuida. [22]

#### **4.5.13. Favorece el uso de los vehículos eléctricos**

Hasta ahora, el avance en esta materia se ha desarrollado mayoritariamente en los vehículos híbridos, que combinan un motor eléctrico con otro motor de gasolina o de diésel, cuyo propósito principal es disminuir las emisiones originadas al consumir combustibles fósiles y disminuir también el costo, particularmente en periodos en que el precio del petróleo ha estado particularmente alto.

En las RI, no son los vehículos híbridos los que harán la diferencia, sino que los genuinamente eléctricos, que se tendrán que enchufar a la red para cargar energía para moverse, pero que también podrán enchufarse para inyectar. Típicamente, estos vehículos podrán cargar energía en la noche, cuando es más barata, y podrán inyectar energía en el día, cuando es más cara. Todo dependerá de tecnologías que medirán los patrones de consumo y anticiparán las necesidades futuras de los conductores, de la autonomía que alcancen las nuevas versiones (capacidad de las baterías), de los puntos de recarga, de la rapidez de la recarga, de la modalidad de recarga (carga eléctrica o cambio de batería), del costo de los vehículos, del costo de la batería, entre otros.

#### **4.5.14. Disminución de las emisiones**

Como referencia se estima que si los medidores inteligentes mejoraran la eficacia de la red eléctrica de USA en solo un 5%, eso equivaldría a reducir las emisiones de efecto invernadero de 53 millones de autos, vale decir, aproximadamente 300 millones de ton de CO2 por año. [16]

#### **4.5.15. Menores costos**

Esto es resultado final de muchos de los beneficios ya mencionados: eficiencia energética, gestión de la demanda, acceso a energías renovables intermitentes de menor costo. El consumidor final se ve beneficiado directamente con una disminución en su “cuenta de la luz” e indirectamente porque los bienes de consumo también tendrán un menor costo de producción.

Finalmente, en una mirada macro, los países donde se desarrollan RI esperan conseguir importantes beneficios económicos. Por ejemplo, el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) de España, en su “Plan Nacional de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020” realizó una estimación de ahorros de 7.900 millones de euros, promedio anual, equivalente a 0,7% de su PIB (Producto Interno Bruto), considerando que en 2011 éste ascendía a 1.070.000 millones de euros. [16]

#### **4.5.16. Desarrollo de la industria tecnológica de RI**

Los países y empresas que inviertan en investigación y que potencien el desarrollo de todas las tecnologías asociadas a RI, como medidores, sensores y sistemas de comunicación inteligentes, vehículos eléctricos o

energías renovables, liderarán una industria en crecimiento, que generará empleo y reportará cuantiosos beneficios económicos.

#### **4.6. BARRERAS**

Se han realizado estudios para determinar el aporte de las redes inteligentes en muchas partes del mundo, particularmente Estados Unidos, Europa y Corea del Sur. Por ejemplo, Ernst & Young señaló en abril de 2012 que sin más certidumbre política, incentivos regulatorios adecuados, y más inversión, Gran Bretaña podría rezagarse en un nuevo mercado de crecimiento global, fuente de prosperidad y puestos de trabajo en los próximos años. [18]

En Estados Unidos, donde ya se ha avanzado mucho en RI, uno de los grandes obstáculos que vislumbran los reguladores federales tiene que ver con garantizar la interoperabilidad de los estándares. Otras barreras son técnicas: desarrollo de sistemas de almacenamiento económico e incorporación de generación distribuida con fuentes renovables. [7]

Un resumen de las principales barreras detectadas es el siguiente:

##### **4.6.1. REGULATORIAS**

Las redes de transmisión y de distribución constituyen monopolios naturales y por ello su actividad está regulada. El éxito de la implantación de muchos de los desarrollos depende de un marco regulatorio y retributivo adecuado. [23]

En el año 2011, Eurelectric, asociación de la industria eléctrica en Europa, realizó una encuesta sobre las barreras regulatorias más importantes que

deberían afrontarse para acelerar el desarrollo de la RI. La incertidumbre normativa es la barrera regulatoria más importante. Otras son: [24]

- Incertidumbre en las disposiciones ambientales y límites de emisiones.
- Falta de una voz unificada por parte del Gobierno para mantener el impulso de la Red Eléctrica Inteligente y ayudar a estimular su desarrollo.

En Chile, la inexistencia de una visión integrada para el desarrollo de RI se manifiesta en la elaboración de normativas no conectadas entre sí. Lo óptimo sería que el país defina el modelo de redes eléctricas inteligentes que quiere construir y elabore una estrategia de desarrollo apropiada de mediano y largo plazo, con definición de etapas, alcance, plazos, recursos y metas. Todo esto dará a los actores de la industria una visión mucho más clara del camino y los objetivos a alcanzar, disminuyendo las incertidumbres. [12]

- Falta de claridad en los roles y responsabilidades de varias dependencias gubernamentales versus las empresas de servicios públicos.
- Certeza y transparencia inadecuadas en los procesos de licitación competitiva.
- Incertidumbre asociada con los términos y condiciones del acuerdo de adquisición de energía y una necesidad de contratos de más largo plazo.
- Falta de incentivos basados en el rendimiento para mejorar la eficiencia.

La regulación también está ralentizando el despliegue de tecnologías innovadoras en redes eléctricas, ya que los modelos de regulación han presionado por años a las empresas a reducir costos. [25]

#### **4.6.2. TECNOLÓGICAS**

Hay varios elementos tecnológicos de las RI que todavía requieren investigación y desarrollo. El 2015, el Comité Consultivo de Electricidad de Estados Unidos, envió al DOE una serie de recomendaciones sobre necesidades de apoyo en I+D. En el Anexo 1 se presenta el detalle con las recomendaciones, destacándose en el área de Transmisión: convertidores HVDC y otros controles que se basan en dispositivos semiconductores electrónicos de potencia, almacenamiento de energía, robótica y vehículos aéreos no tripulados para reducir los costos de inspección, herramientas avanzadas para gestión de la red (AGM), sensores avanzados y otros dispositivos electrónicos inteligentes (IED) y tecnologías HVDC avanzadas. En Distribución destaca: sistemas de gestión de la distribución (DMS), electrónica de potencia avanzada, micro-red, transformador universal inteligente y micro unidades de medición de fasores. Para los Consumidores, se menciona: nueva generación de micro-inversores fotovoltaicos, sistema de gestión de energía residencial (REMS), portal de consumo de energía, infraestructura para carga de vehículos eléctricos con enchufe y tecnologías de comunicación de la RI con los vehículos. Además, recomienda avances en seguridad cibernética e interoperabilidad.

Un diagnóstico similar hay en Europa, donde las DSOs necesitan mayor capacidad para invertir en investigación, desarrollo e innovación. [25]

##### **4.6.2.1. Vehículos eléctricos**

El grado de madurez de la tecnología de vehículos eléctricos está lejos aún de permitir su masificación.

La penetración masiva de los vehículos eléctricos para pasajeros y para transporte público se viene anunciando hace tiempo, generando mucho interés,

pero todavía no hay una gran oferta a costos razonables, ni infraestructura de soporte suficiente que permita su movilidad. El futuro de los vehículos eléctricos resplandecerá cuando las baterías disminuyan su costo y aumenten la autonomía de conducción. O cuando los subsidios estatales hagan que estos vehículos sean competitivos a los de combustibles fósiles de igual segmento.

Al año 2015, la participación de mercado del vehículo eléctrico sigue siendo baja, y son pocos los países que superan el 1%, destacando Noruega, donde se observa un crecimiento exponencial en sus ventas, debido a la subvención que otorga el Estado para hacer competitivo su precio, mediante un “bono ecológico”, y a las facilidades de circulación. [26]

Por ahora sólo hay desafíos, como el de la Unión Europea, que en su III Congreso Europeo de Vehículos Eléctricos, realizado en Madrid el 23 de noviembre de 2015, recordó que la ley 2014/94 del Parlamento y Consejo Europeo señala que los Estados miembros garantizarán, a través de sus políticas nacionales, que un número apropiado de puntos de recarga accesibles al público se pondrá en marcha el 31 de diciembre de 2020, con el fin de garantizar que los vehículos eléctricos pueden circular al menos en las aglomeraciones urbanas / suburbanas. En la misma ley se indica, a modo indicativo, que el número medio apropiado de puntos de recarga debe ser equivalente a por lo menos un punto de recarga por cada 10 autos. Un número apropiado de puntos de recarga accesibles al público se debe instalar, en particular, en las estaciones de transporte público, tales como terminales de pasajeros, aeropuertos o estaciones de ferrocarril. Lo anterior se debe complementar con información pública accesible sobre la ubicación geográfica de los puntos de recarga y el precio justo para el suministro de electricidad. [27]  
[28]

#### **4.6.2.2. Almacenamiento de la energía**

Otro punto débil lo constituye el almacenamiento de la energía, todavía complejo y caro. Este punto es relevante para incorporar en forma masiva energía de fuentes renovables no convencionales intermitentes. Existe una serie de mecanismos, como por ejemplo:

- Almacenamiento de energía mediante bombeo o centrales reversibles, ya que pueden mover el agua en dos sentidos. Hacia arriba, a un embalse de almacenamiento superior, en horas de consumo valle, en que el precio de la energía es más bajo, mediante bombeo, comprando energía eléctrica. O hacia abajo, a un embalse de almacenamiento inferior, río o mar, en horas de consumo de punta, generando electricidad mediante turbinas y vendiendo energía a un precio más alto. Este sistema de almacenamiento se usa no sólo para aplanar la curva de carga diaria (valle-punta), sino que ayuda también a evitar vertimientos eólicos y solares, integrando más eficientemente altos porcentajes de energías renovables.
- Almacenamiento Térmico mediante proyectos de concentración solar de potencia con sales fundidas.
- Mecanismos de Aire Comprimido (CAES), donde el aire es almacenado a altas presiones en depósitos naturales o artificiales bajo tierra (minas abandonadas, cavidades rellenas en soluciones minerales o acuíferos, cuevas de sal), siendo una solución mucho más compleja en la práctica que en la teoría.
- Volantes de inercia, que aportan al sistema inercia adicional para almacenar energía cinética, continuando su movimiento por inercia cuando se detiene el motor que lo propulsa. Pero no son muy competitivos para los largos tiempos de almacenamiento requeridos por

las generadoras eléctricas. Su ventaja radica en que pueden absorber la energía en segundos o minutos y devolverla con la misma rapidez, ayudando a regular la frecuencia del sistema.

- Baterías, de distinto tipo, como **plomo-ácido**, con una baja densidad energética, pesadas y voluminosas en comparación a la cantidad de energía que pueden almacenar; **baterías NaS** (sodio-azufre o Sulfuro de Sodio), con mayor densidad energética y miles de ciclos de carga y descarga, siendo su principal dificultad que el sodio y el azufre deben mantenerse en depósitos separados en estado fundido a unos 300 °C, sufriendo daños irremediables si se descargan completamente y se enfrían; **baterías Li-ion** (ion-litio o sal de litio) de uso generalizado en telefonía móvil y en desarrollo para vehículos eléctricos, siendo su mayor inconveniente el costo debido a las medidas de seguridad que requiere para evitar inflamación; **baterías de flujo de vanadio VRB** (Vanadium Redox Battery), en etapa de proyectos de demostración, siendo sus principales inconvenientes la baja densidad energética (energía por unidad de masa del equipo) y la necesidad de grandes espacios para acoger todo el sistema (celdas + tanques + distribución del electrolito), que en todo caso no afecta mayormente su uso en aplicaciones estacionarias, como por ejemplo micro-red para iluminar edificios y alumbrado público de las instalaciones ubicadas en el recinto del Laboratorio de Ensayos de Aerogeneradores (LEA) del Centro Nacional de Energías Renovables (CENER) en España, que lleva operando varios años una batería VRB de 50 kW de potencia y 200 kWh, con capacidad para 4 horas; **baterías de flujo redox Zn-Br** (zinc-bromuro) que permiten convertir la energía eléctrica y almacenarla como energía química, cuyos primeros prototipos en España se están instalando en el proyecto demostrativo de redes inteligentes Factory Microgrid; **baterías de flujo Metal-Aire** (oxidación del Litio, Zinc, Hierro, Sodio o Aluminio

con aire) se proyectan como la solución al almacenamiento de energías renovables para redes de suministro a gran escala por ser de bajo costo e impacto ambiental, gran densidad de energía y capacidad de almacenamiento, y para los vehículos eléctricos; **NaNiCl<sub>2</sub>** (sal fundida), y **baterías de hierro cromo Fe-Cr** (flujo redox).

- Ultra condensadores: a diferencia de las baterías convencionales tienen una capacidad de cargar y descargar potencia más rápidamente, tienen mayor vida útil y mayor rendimiento a bajas temperaturas, estabilizando las variaciones de producción de energía a corto plazo. En China hay ejemplos de su aplicación en parques eólicos. Desde el año 2013 opera en España, a modo de laboratorio, la primera planta de almacenamiento con ultra condensadores, puesta en servicio por Endesa, siendo su principal objetivo asegurar la calidad del suministro y estabilidad del sistema, mediante la regulación primaria de frecuencia.

#### 4.6.3. ESTÁNDARES

El alto grado de automatización propio de las RI requiere enfrentar un proceso difícil de normalización y estandarización de protocolos de comunicación e interfaces, para que las soluciones de diversos fabricantes se puedan integrar de forma óptima. Estos procesos generalmente son lentos y en ocasiones se ven más regidos por intereses económicos particulares que por las prioridades derivadas del desarrollo tecnológico más eficiente o por la visión país. [23]

Las empresas de TI ofrecen productos y servicios con diferentes grados de avance tecnológico. La conformación final de las RI dependerá del grado de integración u homologación que logren todas ellas. Se requiere estándares internacionales que permitan una comunicación fluida, segura y económicamente óptima.

En materia de vehículos eléctricos, si bien no se han masificado, en Europa hay algunos avances normativos, ya que la ley europea sobre el despliegue de la infraestructura de combustibles alternativos, exige que todos los puntos de carga cumplan con las especificaciones técnicas señaladas en la ley. Deberán considerar al menos un enchufe común "Tipo 2" para las estaciones de carga, compatible con los requisitos de seguridad de cada país. No se desconoce los avances e inversiones que haya realizado cada país, pudiendo también operar con sus propios enchufes en forma simultánea en el mismo punto de carga (doble enchufe). Se encuentra pendiente el estándar europeo para la recarga inalámbrica (electromagnética), intercambio de baterías, puntos de recarga para vehículos categoría L (a motor con menos de 4 ruedas) y autobuses eléctricos.

#### **4.6.4. COSTOS**

La falta de recuperación oportuna y los costos de inversión son claramente una barrera para el despliegue masivo de las RI. La implantación global de las redes inteligentes pasa por el despliegue de los múltiples desarrollos tecnológicos o soluciones asociadas a las TI que le dan soporte. Estos procesos generalmente representan inversiones importantes y tienen prolongados periodos de penetración, generando que los beneficios esperados no se recuperen en plazos cortos. [23]

Los costos son una de las principales barreras a la implementación. Los avances tecnológicos ya se han estado haciendo: autos eléctricos, medidores inteligentes, domótica, pero aún no están al alcance de la mayoría de los consumidores como para justificar la inversión. Para acelerar la masificación se requieren programas de apoyo públicos y privados que ayuden al financiamiento.

#### **4.6.5. DE MERCADO**

Las principales barreras de mercado que se mencionan en la bibliografía revisada son: [24]

- Incertidumbre con respecto al futuro de la tecnología de la Red Eléctrica Inteligente
- Los recursos no convencionales usualmente se encuentran lejos de los centros poblacionales
- Falta de información adecuada acerca de los beneficios de los recursos no convencionales
- Incentivos mixtos en el mercado de arriendo de departamentos y casas para invertir en tecnologías nuevas
- Percepción pública y falta de entendimiento adecuado de los beneficios de la Red Eléctrica Inteligente (aceptación de los clientes).
- Mecanismo de precios que no se basa en el costo en tiempo real de entregar los servicios de energía eléctrica
- Integración de proveedores competitivos al mercado monopólico tradicional.
- Nivel de capacitación de los usuarios.

Otras barreras de mercado son las restricciones para el traspaso de las señales de precio a los usuarios, los incentivos contrapuestos de las empresas distribuidoras y las estructuras tarifarias estáticas. [12]

#### 4.6.6. APOYO

En Estados Unidos, el *Net Metering*, mecanismo destinado a retribuir a clientes que son pequeños medios de generación distribuidos en base a energías renovables no convencionales, se ha podido desarrollar ampliamente por el apoyo de muchos incentivos económicos.

Con datos cerrados hasta el 2013, se espera que entre 2009 y 2015 las inversiones federales del DOE más la inversión privada de la industria eléctrica sumen prácticamente 8 mil millones de dólares en proyectos del “Programa de Subvención de la Inversión para Redes Inteligentes” (SGIG, Smart Grid Investment Grants). Mediante este programa se han beneficiado 99 proyectos que involucran a más de 200 empresas de electricidad y otras organizaciones cuyo propósito es modernizar la red eléctrica, fortalecer la seguridad cibernética, mejorar la interoperabilidad, y recoger un nivel sin precedentes de datos sobre las operaciones, beneficios e impactos en la distribución de electricidad mediante redes inteligentes. En el mismo período de tiempo, un monto adicional de 1,6 mil millones de dólares en financiamiento de costos compartidos apoyará proyectos demostrativos para almacenamiento de energía y para evaluar conceptos emergentes de redes inteligentes. Otros 100 millones de dólares de fondos federales han apoyado 52 proyectos de capacitación a trabajadores de redes inteligentes. [22]

Por su parte, en Europa, existen varias iniciativas de financiamiento para investigación e infraestructura. Por ejemplo, “Horizonte 2020”, que es el mayor programa de financiamiento de investigación y desarrollo de la Unión Europea, con fondos disponibles entre 2014 y 2020 por casi 80.000 millones de euros, en el año 2015 destinó 67 millones de euros a temas de electro movilidad y 106 millones a ciudades y comunidades inteligentes. Para los años 2016 y 2017 contempla un fondo de 58 millones de euros para pequeñas y medianas empresas de transporte. Además, la Comisión Europea cuenta con otros fondos

estructurales y de inversión (ESIF: European Structural and Investment Funds) para, entre otras materias, apoyar el desarrollo de productos, encontrar nuevos mercados, invertir en sectores como la banda ancha, tecnologías de la información, y telecomunicaciones. También tiene fondos para iniciativas destinadas a la conexión europea mediante la Red Transeuropea de Transporte (a veces denominado en plural, en inglés TEN-T / CEF). Finalmente, también tiene fondos de inversión combinados con subsidios. [28] [29]

Sin embargo, en Chile, no existen sistemas de financiamiento que apoyen ninguno de los elementos de las redes inteligentes, para infraestructura ni menos para investigación, ya sea vehículos eléctricos, generación distribuida o aplicaciones asociadas a TI. No existen créditos blandos (de largo plazo y bajas tasas de interés), créditos verdes (para proyectos respetuosos con el medioambiente), incorporación del sistema de generación fotovoltaico en el crédito hipotecario o posibilidad de deducir su inversión tributariamente. Tampoco existen sistemas de financiamiento especiales dirigidos al desarrollo de proyectos piloto y de investigación sobre RI.

Durante el período de madurez de las nuevas tecnologías y dispositivos de la RI, será fundamental llevar a cabo pruebas, mejoras tecnológicas, educación del consumidor, desarrollo de normas y reglamentos, intercambio de información entre proyectos y apoyo público-privado para asegurar que los beneficios de la visión que tenemos de la red inteligente se conviertan en realidad.

## **5. EXPERIENCIAS PRÁCTICAS INTERNACIONALES**

Muchos países del mundo han iniciado el camino de la transformación de sus redes eléctricas tradicionales hacia RI, constituyéndose en modelos para otros proyectos nacionales o internacionales, dependiendo de sus propios objetivos.

A continuación se presenta el análisis de algunos de los principales proyectos lanzados en las dos regiones más avanzadas del mundo, la Unión Europea y Estados Unidos.

Empezando por la Unión Europea, donde existe gran cantidad y variedad de proyectos. Se revisará su evolución, las características de los tres proyectos más grandes iniciados en 2013 y, de ellos, los resultados particulares del proyecto Finesce, finalizado el 2015. Incluyendo un punto especial para los resultados del despliegue de la medición inteligente.

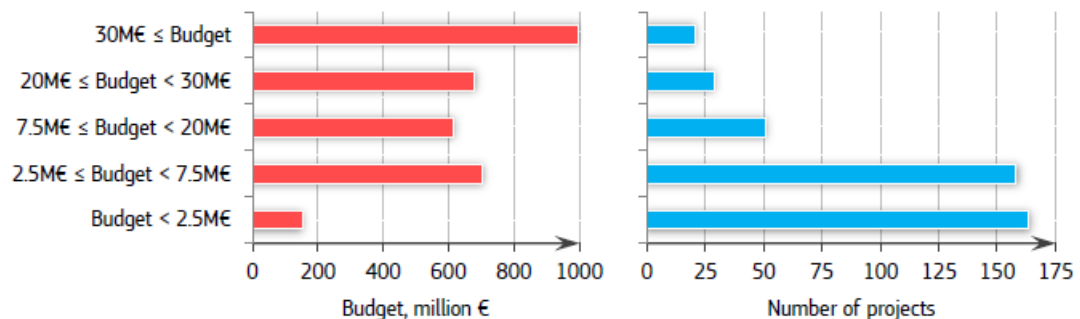
De Estados Unidos, se presentarán los programas de apoyo financiero para proyectos de RI y, en particular, un resumen de los aspectos más destacados, y sus resultados, de cinco proyectos que están cambiando la forma de suministrar la electricidad.

Y finalmente, como ejemplo de caso fallido, de acuerdo a la evaluación de sus clientes, se presenta el proyecto SmartGridCity™ de Xcel Energy, en Boulder, Colorado.

### **5.1. Unión Europea (UE)**

El catálogo global más actualizado de proyectos de RI de esta región fue elaborado el 2014 por el Centro Común de Investigación (JRC, Joint Research Centre) de la Comisión Europea. Su detalle se puede consultar en la publicación “*Smart Grid Projects Outlook 2014*”. [30]

En él se señala que desde el año 2002 se han lanzado 459 proyectos en 47 países, con una inversión total de 3.150 millones de euros. De éstos, ya se han completado 238 proyectos, por 1.150 millones de euros, con un promedio de 5 millones de euros cada uno, y aún se encuentran en marcha 221 proyectos, con una inversión total de 2.000 millones, vale decir, con un promedio de 9 millones cada uno. En términos gruesos, esta última cifra resulta similar al presupuesto destinado por Chilectra a su proyecto Smartcity Santiago, de 10 millones de dólares, como se muestra más adelante.

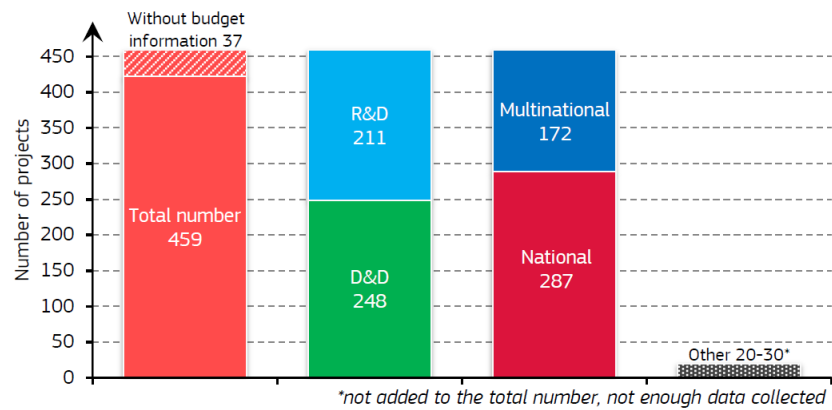


**Figura 1:** Distribución proyectos RI por tamaño inversión

Fuente: Centro Común de Investigación de la Comisión Europea, 2014

Los recursos financieros han provenido aproximadamente en partes iguales de capitales privados y públicos. Es relevante señalar que más del 90% de los proyectos ha recibido algún tipo de fondo público.

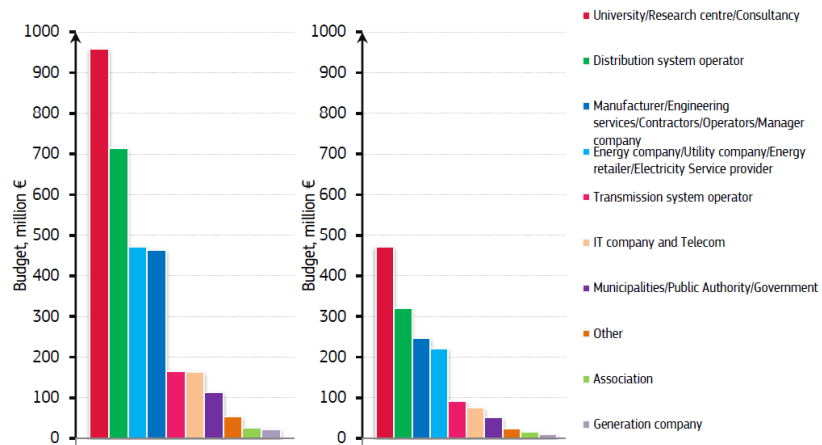
La cantidad de proyectos en I+D (211) es casi la misma que en demostración y despliegue (248), aunque estos últimos triplican el presupuesto de los primeros.



**Figura 2:** Total de proyectos europeos en RI

Fuente: Centro Común de Investigación de la Comisión Europea, 2014

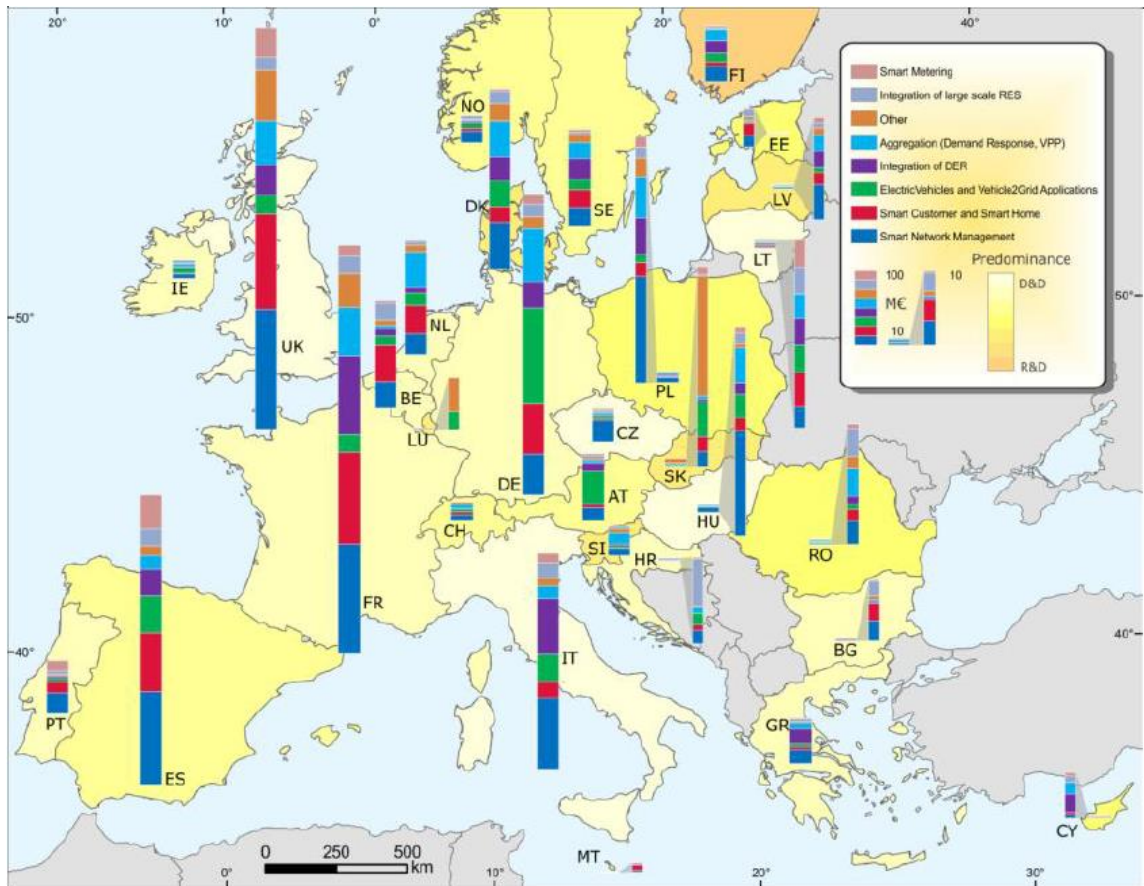
Muchas organizaciones llevan a cabo estos proyectos, destacando universidades, TSOs, DSOs, fabricantes de equipos y empresas TIC.



**Figura 3:** Inversión por tipo de organización. Izq. Total; Der. Privada

Fuente: Centro Común de Investigación de la Comisión Europea, 2014

Si bien son muchos los proyectos, sólo unos pocos países se destacan en materia de inversión, ya que la mitad se concentra en Francia, Reino Unido, Alemania y España.



**Figura 4:** Distribución de la inversión en RI por aplicación y país

Fuente: Centro Común de Investigación de la Comisión Europea, 2014

Desde abajo hacia arriba las barras muestran la inversión en gestión de RI, hogar y cliente inteligente, vehículo eléctrico y aplicaciones, recursos de energía distribuida, respuesta de la demanda, otros, integración de energías renovables a gran escala y medición inteligente. Por ejemplo, el color verde muestra que

Alemania es el país de Europa que más invierte en proyectos relacionados con vehículos eléctricos.

A continuación se presentan algunos de los más grandes proyectos iniciados en 2013. [30]

#### **5.1.1. Proyecto: “Arrowhead”. Suecia.**

- Año de inicio 2013. Año de término: 2018
- Coordina: Universidad Tecnológica de Lulea
- Socios: 77, de 15 países.
- Presupuesto: 68 millones de euros. [31]
- Objetivo: eficiencia y flexibilidad.
- Proyecto de demostración y despliegue (D&D).

Este proyecto busca elaborar un marco técnico adecuado; proponer soluciones para la integración con sistemas heredados; implementar y evaluar la automatización cooperativa a través de experimentos reales en áreas de la movilidad eléctrica, los edificios, las infraestructuras y las ciudades inteligentes, la producción industrial, la producción de energía y el mercado virtual de energía (plataforma de comercialización entre usuarios de la red eléctrica); señalar las innovaciones accesibles gracias a los nuevos servicios; estandarizar; y mostrar los beneficios de la RI en la vida real.

Para lo anterior, el proyecto se basará en las prioridades de los usuarios mediante el análisis de las deficiencias del modelo de negocio y de la tecnología. Los proyectos se desarrollarán en entornos reales de trabajo y se basarán en la innovación.

**5.1.2. Proyecto: “Finesce” (Future INtErnet Smart Utility ServiCEs). Alemania.**

- Año de inicio 2013. Año de término: 2015.
- Coordina: Ericsson GMBH (Sociedad de Responsabilidad Limitada)
- Socios: 20 de 11 países.
- Presupuesto: proyecto de mediana escala (entre 7,5 y 20 millones de euros).
- Objetivo: desarrollar las TIC en el sector energético.
- Proyecto de demostración y despliegue (D&D).

Este proyecto se desarrolló en siete sitios de Europa, abordando el uso eficiente de la energía en los edificios residenciales e industriales, desarrollando un nuevo mercado de energía prosumer (productor-consumidor), construyendo una central eléctrica privada virtual internacional, usando vehículos eléctricos y sistemas de respuesta a la demanda, permitiendo a los proveedores de energía pasar de una gestión reactiva a una proactiva, proporcionando la internet del futuro, y permitiendo una mejor integración al sistema de la energía solar y eólica. Adicionalmente, el proyecto tuvo como propósito desarrollar una comunidad activa de pequeñas y medianas empresas innovadoras, para la captura de las oportunidades de negocios emergentes en materia de energía, la creación de puestos de trabajo y el crecimiento económico.

Los siete sitios en que se desarrollaron las pruebas y sus correspondientes ámbitos de acción se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 1:** Ámbitos de las pruebas del proyecto Finesce

ÁMBITO DE LA PRUEBA	LUGAR DE IMPLEMENTACIÓN
Edificios inteligentes	Malmö, Suecia
Prosumer inteligente	Horsens, Dinamarca
Edificios inteligentes	Madrid, España
Fábrica inteligente y VPP	Aachen, Alemania
RI y mercado de la energía	Terni, Italia
Integración del vehículo eléctrico a la red	Dublin, Irlanda
Comunicación de RI	Portlaoise, Irlanda

Fuente: Plataforma Energía Inteligente Finesce

Finesce es un proyecto de RI correspondiente a la segunda fase del programa de Asociación Público Privada para la Internet del Futuro, financiado por la UE.

El proyecto fue exitoso en su ejecución. El programa diseñado fue llevado a cabo según lo planificado, sólo con ligeras desviaciones que no afectaron los resultados finales. Inclusive, se obtuvieron más resultados que los esperados. [32]

La evaluación interna que se hizo del proyecto señala que Finesce realizó una contribución considerable al conocimiento público de las RI, siendo de gran interés para muchos actores del sector energético en Europa, Estados Unidos y Japón. Estos conocimientos están siendo madurados comercialmente por los socios del proyecto.

A continuación se presenta el resumen de los principales resultados del proyecto. El detalle se puede ver en el informe “Finesce, Consolidated Trial Results”. [33]

#### **5.1.2.1. Resultados de las pruebas sobre uso de habilitadores genéricos y FIWARE.**

FIWARE es una plataforma desarrollada en el área de las TIC cuyo objetivo es promover la innovación en la industria informática y elaborar nuevos estándares para la internet del futuro de la UE.

Los habilitadores genéricos son componentes informáticos que proporcionan normas abiertas API (interfaces de programas de aplicación) que facilitan la conexión de los objetos a internet (internet de las cosas), el procesamiento de datos en tiempo real a gran escala y la incorporación de funciones avanzadas de interacción con el usuario. En FIWARE, las especificaciones API son públicas y están exentas del pago de derechos de autor. [34]

Finesce evaluó positivamente 6 habilitadores genéricos.

El resumen de la evaluación indica que los habilitadores genéricos funcionan como base para la construcción de nuevos servicios de forma rápida, pero deben ser más fiables y predecibles para su uso comercial de largo plazo. El proyecto realizó muchas pruebas, descubriendo que el problema principal no está en la tecnología, ya que FIWARE funciona bien, sino que en el modelo de negocio, en el mercado, en la oferta de los servicios o productos y en regulación.

#### **5.1.2.2. Resultados de las pruebas de experimentación técnica.**

En Malmö, **Suecia**, se desarrolló soluciones para mejorar la DSM y la DR, en edificios de uso mixto. Se analizó el consumo de 350 clientes de 5 edificios durante un año, levantando información mediante sensores. En materia de optimización se realizaron pruebas de reducción y desplazamiento de la carga, encontrando en este último caso resultados mayores a los esperados. Se observaron ahorros de 5%. El despliegue de la infraestructura generaría

beneficios a toda la ciudad, bajando el costo de la energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>, mediante la disminución de la demanda de punta.

En **Dinamarca**, el ensayo se realizó en una comunidad de casas unifamiliares en un pequeño pueblo cerca de Horsens, donde las casas están situadas fuera de la zona de suministro de calefacción urbana y originalmente tenían calderas a gas o petróleo. Se instaló equipos y componentes para la generación y consumo de energía eléctrica, y se estudió el uso eficiente de la red a través de la DSM de los prosumers.

Se estudiaron cuatro focos de interés de la RI, tecnología y comportamiento social, visualización de la energía, control externo de los recursos energéticos y prosumers.

Se demostró que casi todos los participantes se involucraron activamente en la optimización, guiados por el sentido común, que las familias ajustaron sus prácticas de consumo y que el sentido del logro es esencial para la actitud de los usuarios hacia el control externo.

En la transición hacia la energía “verde”, se recomienda que la entrega de tecnología inteligente sea acompañada de capacitación a los usuarios finales, para evitar que vuelvan a viejos hábitos. Que las interfaces sean amigables. Y que los servicios de control inteligentes sean flexibles y adaptables a la variabilidad de los precios, como por ejemplo, para aprovechar la energía solar gratuita.

El proyecto también consideró pruebas de carga controlada para 19 vehículos eléctricos. Se demostró reducción de la demanda de punta en la red de 400 V y la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> y el costo de la energía del usuario final. Sin embargo, en Dinamarca, el modelo de negocio para escalar esta tecnología no existe todavía.

En **España** el foco fue la gestión integrada de energía para edificios de oficina. Acciona, socio principal, hizo la implementación en uno de sus edificios en Madrid, el cual fue monitoreado y controlado con un sistema de gestión de edificios (BMS, building management system). A través de una red de sensores inalámbricos se midió, por ejemplo, la temperatura, la humedad relativa, la luminancia en el exterior del edificio y la generación y consumo de energía. El edificio cuenta con paneles fotovoltaicos, generación de energía eólica simulada, batería de almacenamiento de electricidad, medidores y sensores inteligentes, y un servicio de predicción meteorológica para alimentar a los algoritmos de control de energía del edificio.

Se demostró que la conciencia sobre el consumo de energía se incrementó a través del suministro de información a los usuarios sobre el consumo y el confort del edificio, presentando también el desglose detallado de las diferentes áreas. Además, los usuarios pueden suscribirse a datos y alertas personalizadas sobre los diferentes dispositivos de consumo de energía del edificio.

En **Alemania** se realizaron estudios de DR industrial con una planta de energía virtual (VPP) transfronteriza. El centro de ensayo es una fábrica inteligente en Aachen. La VPP de prueba se encuentra en Colonia y comprende una decena de DER situados en Bélgica y Alemania.

Se demostró que el método de balance propuesto entre el consumo de energía de la fábrica inteligente y las proyecciones de producción de la VPP tuvo un impacto positivo en la operación de la red, con rápidos tiempos de respuesta a los cambios intra-día y a las desviaciones de los pronósticos.

En **Italia** se desarrolló una prueba basada en una red de MT y BT en la ciudad de Terni. Se desarrolló un mercado de energía para proporcionar DR a partir de DER.

Se instalaron dos nuevos modelos de contadores inteligentes, el primero de ellos se basa en la comunicación GPRS y el segundo mediante comunicación G3 PLC, los cuales son leídos cada 5 minutos. Ambos métodos están trabajando y no interfieren entre sí. G3 PLC es una especificación de comunicación que fomenta la interoperabilidad.

La infraestructura de simulación en tiempo casi real ha demostrado buena precisión.

En **Irlanda**, Dublin, se construyó un sistema de carga para vehículos eléctricos. El proyecto contempló vehículos eléctricos propiamente tal, puntos de carga, redes de comunicación y sistema de control. El piloto creó un sistema de optimización a partir de toda la información recogida de la red, tomando como base criterios tales como los patrones de consumo del cliente, la estabilidad de la red y el uso de energías renovables. Además del algoritmo de optimización, se desarrolló un mecanismo para interrumpir el proceso de carga en caso de una emergencia en la red.



**Figura 5:** Equipo doméstico de suministro de energía para EV

Fuente: Plataforma Energía Inteligente Finesce

En Portlaoise, **Irlanda**, se desarrolló y evaluó una nueva arquitectura informática de comunicaciones para las compañías distribuidoras, con el propósito de mejorar la confiabilidad, seguridad y eficiencia del suministro.

Además, este sistema de comunicaciones permitirá el desarrollo de nuevas aplicaciones operacionales.

**5.1.3. Proyecto: “GARPUR”. (*Generally Accepted Reliability Principle with Uncertainty modelling and through probabilistic Risk assessment*)**

- Año de inicio 2013. Año de término: 2017.
- Coordina: SINTEF Energy Research
- Socios: 21.
- Presupuesto: 10,9 millones de euros. Financiamiento de la Comisión Europea: 7,8 millones de euros. [35]
- Objetivo: confiabilidad y calidad de vida.
- Colaboran 7 TSOs (Bélgica, Bulgaria, República Checa, Dinamarca, Francia, Islandia, y Noruega).
- Proyecto de demostración y despliegue (D&D).

Este proyecto estudiará cinco alternativas para mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico europeo: modelación estocástica de las interrupciones del servicio; análisis estocástico de la confiabilidad por fallas en los controles correctivos; flexibilidad que permite la gestión de la demanda y almacenamiento de energía; gestión de activos; y análisis estocástico de los eventos de alto impacto y baja probabilidad tales como eventos climáticos. El propósito es diseñar, desarrollar y evaluar nuevos criterios de gestión y confiabilidad para ser implementados progresivamente en Europa en los próximos años, equilibrando costos y beneficios. Se busca nuevos criterios de confiabilidad probabilística que complementen y mejoren el criterio N-1.

Las TSOs realizarán las pruebas estadísticas y los planes pilotos. La difusión de los nuevos criterios de confiabilidad será realizada por un grupo de referencia de TSOs considerando todos los actores clave del mercado eléctrico. Para el despliegue de las soluciones técnicas y reglamentarias se realizará una ruta de implementación que mantenga la confiabilidad del sistema paneuropeo en niveles socioeconómicos óptimos.

#### **5.1.4. Despliegue de la medición inteligente.**

Del total de 459 proyectos desarrollados en la UE, 145 tienen a la medición inteligente como una de sus principales aplicaciones, y la mayoría se focaliza en el sector residencial.

La instalación de estos medidores es esencial para el éxito de las RI. Es por ello que la UE requiere que sus Estados miembros aseguren su implementación, condicionada a un análisis positivo de costo-beneficio. A los consumidores, el sistema de medición inteligente debe entregar información precisa y frecuente, y debe dar la posibilidad de cambiar de proveedor, para aprovechar las oportunidades de precios más económicos y acceso a tecnologías emergentes (“*smart homes*”). Para la red de distribución implicará reducción de costos de operación y mantenimiento, integración efectiva de la DG y de los EVs, con nuevas oportunidades de negocio.

La UE se ha fijado como meta de despliegue al menos el 80% de los casos evaluados positivamente.

Al 2014, la Comisión Europea reportó un despliegue de 45 millones de medidores inteligentes. Se estima que al 2020 los Estados miembros habrán invertido 35.000 millones de euros en la instalación de casi 200 millones de medidores inteligentes, para el 77% de los consumidores.

El mayor costo del sistema de medición inteligente está en los medidores propiamente tal, seguido del sistema de comunicación de datos. El costo total de medición por cliente varía ampliamente entre países, dependiendo de las diferentes opciones de infraestructura, funcionalidades de los medidores y condiciones locales (ubicación geográfica, contexto económico). Además, cada país utiliza sus propios parámetros en el análisis de costo-beneficio, como por ejemplo, diferentes períodos de evaluación o tasa de descuento. Teniendo presente estos antecedentes, en los países que han completado o están avanzando en su despliegue, el sistema de medición inteligente cuesta en promedio € 223 por cliente, con una amplia desviación estándar de € 143. En promedio, se espera que estos países registren un beneficio global por cliente de € 309 ( $\pm$  € 170) y un ahorro de energía promedio de 3% ( $\pm$  1,3%), dependiendo de cada realidad particular.

## **5.2. Estados Unidos**

Estados Unidos identificó a las RI como un elemento clave para su desarrollo económico y energético. Por ello, el año 2009, mediante la Ley de Recuperación e Reinversión Americana (ARRA, American Recovery and Reinvestment Act), el DOE recibió un presupuesto de 4,5 mil millones de dólares para dar un fuerte impulso a programas de desarrollo de cinco años. Se estima que las inversiones federales del DOE más la inversión privada en estos proyectos sumó prácticamente 8 mil millones de dólares hasta el 2015. Ese año el presupuesto federal fue ampliado para continuar con el desarrollo de proyectos y despliegue a gran escala.

Los principales programas federales de apoyo son:

- Programa de Subvención de la Inversión para Redes Inteligentes (Smart Grid Investment Grant Program, SGIG). Focalizado en la implementación

de tecnologías, herramientas y técnicas de RI. Fueron financiados 99 proyectos por hasta el 50% de la inversión total, con un máximo de 200 millones de dólares cada uno. El monto total de este fondo es de 3.400 millones de dólares.

- Programa de Planes Pilotos de Redes Inteligentes (Smart Grid Demonstration Program, SGDP). Cuyo propósito es explorar sistemas de almacenamiento de energía y de RI avanzados, y evaluar su rendimiento para aplicaciones futuras. El monto total de este programa es de 600 millones de dólares y con él se financió a 32 proyectos, hasta un máximo de 50% de su costo.
- Programa de entrenamiento de la fuerza laboral del sector eléctrico.
- Programa de estándares de interoperabilidad y ciberseguridad.

En la siguiente tabla se presenta la apertura del presupuesto del DOE para impulsar las RI:

**Tabla 2:** Fondos para financiar RI mediante ARRA

**Overview of Recovery Act-Funded Programs**

PROGRAMS	TOTAL OBLIGATIONS	AWARD RECIPIENTS
Smart Grid Investment Grant	\$3,482,831,000	99
Smart Grid Regional and Energy Storage Demonstration Projects	\$684,829,000	32
Workforce Development Program	\$100,000,000	52
Interconnection Transmission Planning	\$80,000,000	6
State Assistance for Recovery Act Related Electricity Policies	\$48,619,000	49
Enhancing State Energy Assurance	\$43,500,000	50
Enhancing Local Government Energy Assurance	\$8,024,000	43
Interoperability Standards and Framework	\$12,000,000	1
Program Direction <sup>1</sup>	\$27,812,000	--

<sup>1</sup>Program Direction supported administration and management of OE's Recovery funds.

Fuente: DOE, octubre 2015 [36]

Pero no sólo se ha invertido en RI a través de los proyectos apoyados por los fondos federales. Se estima que la industria eléctrica invirtió 18.000 millones de dólares en tecnologías de RI entre los años 2010 y 2013. [22]

Según el último informe de avance de RI del DOE al Congreso de Estados Unidos, se estima que la instalación de medidores inteligentes llegó a 65 millones de unidades el 2015, lo que implica una cobertura de más del 30% de clientes de electricidad en todo el país.

Se ha avanzado con éxito en el desarrollo de tecnologías al servicio de los clientes, las cuales, acompañadas de mayor información y tarifas flexibles están reduciendo las demandas de punta en niveles que permiten aplazar la construcción de grandes centrales eléctricas. Por ejemplo, en Oklahoma se

estima que el aporte de la RI permite diferir la construcción de una central de 170 MW.

Por otro lado, se avanza en mejorar la privacidad de los datos y en ofrecer nuevos servicios de gestión de energía a los clientes.

Se ha mejorado la confiabilidad y la eficiencia con la incorporación de tecnologías avanzadas de control automatizado. Por ejemplo, en la ciudad de Chattanooga, Tennessee, se repuso inmediatamente el suministro eléctrico a la mitad de los clientes residenciales afectados por una fuerte tormenta de viento, luego que la compañía distribuidora instalara los equipos del proyecto de RI que llevó a cabo.

Además, se está mejorando la integración de los sistemas informáticos para diseñar nuevos procesos de negocios.

En las líneas de transmisión de alta tensión y subestaciones, los avances tecnológicos también son destacables. Por ejemplo, la tecnología de sincrofasores proporciona datos 100 veces más rápido que la tecnología convencional, permitiendo a los operadores de la red operar las líneas de transmisión a mayor capacidad, e identificar y corregir inestabilidades. Se ha determinado que el flujo de energía entre California y Oregon ha podido aumentar en 100 MW gracias a los datos de los sincrofasores. [22]

Un estudio de McKinsey proyecta que los beneficios económicos que las RI completamente desplegadas pueden llegar a aportar a Estados Unidos en 2019, un valor cercano a los 130.000 millones de dólares anuales. Si se considera que, con base en datos del Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional, el PIB de Estados Unidos ese año podría llegar a 19.600.000 millones de dólares, el beneficio potencial de la RI sería del orden de 0,7% del PIB. Este porcentaje es el mismo que se calculó para España, en el capítulo de

“Beneficios”, con lo cual se ratifica que es un valor bastante representativo del potencial por país.

Los beneficios estimados por Mckinsey se distribuyen como se indica en la siguiente tabla: [37]

**Tabla 3: Beneficios económicos RI**

<b>Ámbito</b>	<b>Beneficio en millones de dólares</b>
<b>Aplicaciones para clientes</b>	<b>59.000</b>
Desplazamiento de la demanda máxima	16.000
Programas de gestión de la demanda disminuyen la energía consumida y requerida	17.000
Disminución de costo por menor necesidad de construir nuevas centrales	26.000
<b>Infraestructura de medición avanzada (AMI)</b>	<b>9.000</b>
Medidores automatizados eliminan la necesidad de lectura manual	7.000
Funciones avanzadas de los medidores	2.000
<b>Aplicaciones de la red</b>	<b>63.000</b>
Optimización Volt-VAR incrementa la eficiencia a través de la conservación de reducción de voltaje	43.000
Detección de fallas, aislamiento y restauración disminuye el tiempo fuera de servicio a través de control automático	10.000
Monitoreo y diagnóstico, reduce los costos de inspección y mantención	8.000
Medición de áreas más amplias incrementa el rendimiento de transmisión	2.000

Fuente: Mckinsey, 2010

A continuación se presenta un resumen de los aspectos más destacados de algunos proyectos de RI que están transformando la forma en que la electricidad se suministra en Estados Unidos. [36]

### 5.2.1. Tennessee: Electric Power Board of Chattanooga (EPB)

La EPB de Chattanooga, Tennessee, es una de las más grandes empresas públicas que provee energía eléctrica en Estados Unidos.

Este proyecto se desarrolló entre los años 2010 y 2012, con el propósito de automatizar la red de distribución de energía eléctrica en la ciudad, mediante la incorporación de tecnologías de RI. La nueva robustez del sistema ha permitido que el suministro sea más confiable y responda más efectivamente ante los eventos de mal tiempo que a menudo afectan la ciudad.



**Figura 6:** Daño en las líneas provocado por la tormenta de abril de 2011

Fuente: [https://www.smartgrid.gov/files/EPB\\_Profile\\_casestudy.pdf](https://www.smartgrid.gov/files/EPB_Profile_casestudy.pdf)

El proyecto requirió una inversión de 223 millones de dólares, 112 de los cuales corresponden a financiamiento federal, mediante el programa SGIG de ARRA. [38]

Se estima que esta mayor confiabilidad ha reportado a las empresas y residentes de la ciudad un valor anual cercano a los 50 millones de dólares. Se

estima también que la cantidad de minutos perdidos por cliente en los cortes de energía se ha reducido a la mitad.

#### **5.2.1.1. Principales resultados [38]**

- Reducción de los costos de operación y mantención por 1,6 millones de dólares anuales gracias a la automatización de la lectura de los medidores. Además, el control automatizado ha reducido significativamente la necesidad de enviar personal a terreno durante y después de las tormentas. Por ejemplo, luego de una gran tormenta registrada el 5 de julio de 2012 la empresa constató ahorros en costos de horas extras por más de 1 millón de dólares, asociados al menor esfuerzo de restauración.
- Los dispositivos de DA han mejorado la confiabilidad, reduciendo la frecuencia y duración de las interrupciones.
- El control de tensión ha permitido a la empresa reducir la demanda máxima, ahorrando 2 millones de dólares al año.

#### **5.2.1.2. Lecciones aprendidas**

- La infraestructura de la empresa tiene más de 60 años de edad, 115 pequeñas subestaciones y una arquitectura de comunicaciones centralizadas limitada. Las tormentas anuales extremas tradicionalmente significaban tiempos de respuesta lentos y uso intensivo de mano de obra para la recuperación del servicio. Con la adición de AMI y DA, la empresa ha transformado su viejo sistema en una red automatizada e integrada.

### 5.2.2. Texas: Notrees Battery Storage Project

El año 2013, Duke Energy puso en servicio el mayor proyecto de almacenamiento de energía eléctrica de América del Norte, en un parque eólico de 153 MW. Su objetivo es ayudar a estabilizar la frecuencia de la electricidad suministrada, moderando el efecto de la intermitencia de la energía eólica y acercando a los consumidores a la energía limpia del futuro.

La tecnología inicialmente usada es la batería avanzada de plomo-ácido, con una duración de 40 minutos, pero a partir del 2016 se actualizará por baterías Li-ion de Samsung. Su capacidad es de 36 MW.



**Figura 7:** Baterías (izq.) y Sistema de Conversión de Potencia (der.)

Fuente: smartgrid.gov

El proyecto requirió una inversión de 44 millones de dólares, 22 de los cuales corresponden a financiamiento federal, mediante el programa SGDP de ARRA.

[39]

Se ejecutó entre los años 2011 y 2014. El año 2012 se completó la instalación de los equipos. En febrero de 2013 se completó la prueba de la operación comercial, comenzando en ese momento a suministrar servicios de regulación de frecuencia al Consejo de Confiabilidad Eléctrica de Texas (ERCOT), a través de un programa piloto de Servicios de Regulación de Respuesta Rápida (FRRS). Al cabo de un año, una vez terminado el piloto, el sistema de almacenamiento de energía mediante baterías (BESS) continuó proporcionando servicios de regulación.

El EPRI está recopilando y compartiendo datos de rendimiento de la implementación, para evaluar el potencial de una adopción más amplia de almacenamiento de energía en toda la industria. [40]

#### **5.2.2.1. Principales resultados [41]**

- El BESS presentó un buen desempeño en el piloto FRRS, generando incrementos de confiabilidad significativos al sistema e ingresos por más de un millón de dólares.
- Durante 24 meses ha generado ingresos netos por 2,8 millones de dólares, lo que da cuenta de una operación rentable.
- La capacidad del BESS disminuyó significativamente en sus dos años de funcionamiento. En 2013, la generación máxima fue de 31,6 MW y la carga máxima fue de 15,3 MW, mientras que en 2014 los valores fueron de 22,7 MW y 7,5 MW, respectivamente. Es por esta razón que se proyecta la instalación de baterías de nueva tecnología en 2016.

### 5.2.3. California: Tehachapi Wind Energy Storage Project

Este proyecto es de Southern California Edison, la principal Compañía distribuidora de energía del sur de California, que abastece a más de 14 millones de personas (5 millones de clientes).

Duración del proyecto: desde febrero 2010 a mayo 2016.

Se puso en marcha un año después que el de Duke Energy, a mediados del 2014, convirtiéndose en otro de los sistemas de almacenamiento con batería más grandes del mundo. Su objetivo es mejorar el rendimiento de la red y contribuir a la integración a gran escala de las fuentes de generación intermitente.

Para ello está utilizando un sistema de almacenamiento de energía mediante baterías de Li-ion, con una duración de 4 horas y una capacidad de 8 MW.

El proyecto requirió una inversión de 50 millones de dólares, 25 de los cuales corresponden a financiamiento federal, mediante el SGDP de la ARRA. [42]



**Figura 8:** Instalaciones del área de almacenamiento y de la subestación

Fuente: [https://www.smartgrid.gov/files/OE0000201\\_SCE\\_InterimRep.pdf](https://www.smartgrid.gov/files/OE0000201_SCE_InterimRep.pdf)

El reporte final con los resultados y las lecciones aprendidas de este proyecto se emitirá una vez que el periodo de prueba termine a mediados de 2016.

#### **5.2.4. Florida: Energy Smart Florida (ESF)**

La Florida Power and Light Company (FPL) es una de las mayores Compañías eléctricas de Estados Unidos. Entre los años 2009 y 2012, FPL implementó uno de los proyectos más grande y completos de la cartera del DOE, con apoyo del SGIG. Durante algunos años FPL había estado instalando medidores inteligentes y ejecutando pilotos como preparación para el proyecto SGIG. La subvención del DOE aceleró los planes y permitió mejoras adicionales a todo el sistema de suministro eléctrico, incluido el transporte, la distribución y la medición. [43]

El ESF tiene como propósito el despliegue de más de tres millones de medidores inteligentes avanzados, automatización de la distribución, un piloto de precios de electricidad, y el monitoreo avanzado de equipos de la red de transporte.

El proyecto requirió un inversión de 579 millones de dólares, 200 de los cuales corresponden a financiamiento federal máximo, mediante ARRA. [44]

##### **5.2.4.1. Evaluación de resultados principales**

- Redujo el costo de lectura de la medición y disminuyó los costos operacionales y de mantención a través de incrementos en la eficiencia. Se observa también una mejoría en la satisfacción del cliente a través de la disminución de los reclamos de facturación.

- Mejoró la confiabilidad y calidad del servicio. La automatización del sistema de distribución y transmisión redujo el número de interrupciones y mejoró el proceso de reposición.
- El monitoreo remoto ha permitido a la Compañía centrarse en las reparaciones en lugar de la inspección y predecir con exactitud cuando el equipo requerirá reemplazo. Esto permite que, mediante una adecuada planificación, se realicen licitaciones competitivas y ahorro de costos.

#### **5.2.4.2. Lecciones aprendidas**

- Para garantizar el éxito operativo, el desarrollo de las aplicaciones que utilizan los datos de los medidores inteligentes debe hacerse en estrecha colaboración con el personal de campo para asegurar la calidad de la comunicación.
- La infraestructura de comunicaciones debe ser tan resistente como la infraestructura de suministro eléctrico.
- Las fases del proyecto deben avanzar coordinadamente, incluyendo instalación de medidores, despliegue de la infraestructura de comunicaciones, desarrollo del centro de diagnóstico, e instalación de los equipos. Un cronograma realista hace más eficiente la ejecución del proyecto.

#### **5.2.5. The Pacific Northwest Smart Grid Demonstration Project**

Este proyecto fue desarrollado por Battelle Memorial Institute, empresa privada, sin fines de lucro, dedicada a la ciencia y tecnología, en asociación con compañías distribuidoras de electricidad, universidades y otras empresas de tecnología. Se trata de un plan piloto de demostración de RI, que atraviesa

cinco Estados (Idaho, Montana, Oregon, Washington, y Wyoming) y cubre el proceso completo del sistema eléctrico, desde la generación hasta el consumo final.

Es uno de los proyectos de demostración de RI más grandes y complejos de Estados Unidos, que incluye todos los elementos más importantes de la red del futuro.

El proyecto se inició en 2010, completó su diseño en 2011 y se puso en marcha en 2013.

Requirió una inversión de 177 millones de dólares, 89 de los cuales corresponden a financiamiento federal, mediante el SGDP de la ARRA. [38]

Fue uno de los 16 proyectos de demostración de RI regionales cofinanciados por el DOE, y único que incluyó múltiples Estados, compañías distribuidoras de electricidad, incluyendo cooperativas eléctricas rurales, municipalidades y un campus universitario. [45]

Corresponde a un tipo de proyecto que cubre áreas relacionadas con recursos de energía distribuida (solar, eólica, hídrica, generadores de respaldo), sistema de distribución (interruptores, reguladores de voltaje, reconectores de circuitos, banco de condensadores), medidores inteligentes y sistemas de clientes. Su propósito es validar nuevas tecnologías que proveen comunicación bidireccional entre la generación distribuida, almacenamiento, activos de demanda, y la infraestructura de la red existente; elaborar estándares y metodologías de comunicación y control seguras y escalables; medir costos y beneficios de todos los usuarios del sistema para servir de base a las futuras inversiones; avanzar en interoperabilidad y seguridad cibernética; y validar nuevos modelos de negocio.

Se probaron más de 20 tipos de activos de redes inteligentes de redes operadas por 11 empresas de distribución, que suministran energía a clientes residenciales, comerciales e industriales. Se incluyó una micro-red operada en isla, para evaluar su potencial para mejorar la confiabilidad y aliviar la demanda de energía. Además, los socios del proyecto se comprometieron a comercializar las tecnologías probadas.

Se instaló un sistema de medición avanzada (AMI) en consumidores residenciales de seis comunidades. Aproximadamente se destinó 21 millones de dólares a la instalación de 31 mil puntos AMI. Además, fueron instalados sistemas de control de distribución innovadores en siete áreas del proyecto.

#### **5.2.5.1. Principales resultados [46]**

- Las más de 50 tecnologías desplegadas ayudaron a reducir el uso de energía y aumentaron la confiabilidad.
- Fue uno de los primeros sistemas transactivos que se pusieron en marcha con éxito en el mundo, donde la oferta y la demanda comunican y negocian el precio y la cantidad de energía eléctrica que se suministra y se consume. Un sistema transactivo es un conjunto de mecanismos económicos y de control que permite el equilibrio dinámico de la oferta y la demanda a través de toda la infraestructura eléctrica utilizando el valor como un parámetro operativo clave [47].
- La gran cantidad de datos sobre el estado de la red permite el control en tiempo real, haciéndola más eficiente, flexible y segura.
- El sistema transactivo fue validado, probando la conexión de toda la región desde el sistema de transmisión a los equipos individuales,

permitiendo una respuesta dinámica de los activos en los puntos finales.

- Fue una valiosa experiencia para las empresas distribuidoras, ya que los resultados están guiando sus inversiones actuales en RI.
- Se demostró un potencial del 8% de reducción de la carga máxima regional.
- El 97% de los participantes de la Cooperativa Eléctrica Flathead declaró estar satisfecho con los resultados. [45]
- Los recursos eólicos se predijeron con precisión.
- Las señales de incentivos para optimizar el consumo y minimizar costos fueron adecuadamente comunicadas en el sistema.
- Con base en los datos recopilados se determinó el tiempo en que los activos del lado de la demanda demoraban en responder.

#### **5.2.5.2. Lecciones aprendidas**

- Todavía queda trabajo por hacer en materia de estándares de interoperabilidad.
- La instalación no fue fácil. Algunas compañías distribuidoras reportaron que la capacidad de comunicación de algunos equipos no era interoperable debido a la incompatibilidad de versiones
- Se requiere seguir haciendo pruebas para reducir el costo de la integración de los equipos de RI.

- Para que las inversiones en RI sean exitosas, y no terminen en activos malgastados, las compañías distribuidoras deben planificar adecuadamente los requisitos funcionales y arquitectónicos, considerando los avances actuales en la integración de los recursos de energía distribuida.
- Hubo problemas con empresas proveedoras inmaduras, como por ejemplo, vendedores de pequeños sistemas de generación solar y eólica que no fueron capaces de entregar sus productos o el nivel de energía producida fue inferior al comprometido. Se recomienda examinar a fondo las capacidades técnicas y fortaleza financiera de los proveedores.
- Como cada empresa distribuidora escogió su propio sistema AMI, algunas seleccionaron medidores que cumplían sólo con los requisitos básicos de lectura, conexión y desconexión remota y reporte de interrupciones de servicio a los clientes. En algunos casos estos medidores no pudieron entregar información fina de consumo e incluso algunos no levantaban datos con intervalos inferiores a un día.
- A pesar de los avances, se necesita mayor capacidad para predecir de mejor manera la oferta y demanda de energía con varios días de anticipación.
- Las compañías distribuidoras que se dedicaron con más fuerza al proyecto fueron las que tuvieron más información a su disposición. A mayor información, mejores resultados.
- Se evidenció falta de herramientas potentes y capacidad de análisis para examinar la gran cantidad y diversidad de datos de la red.

Inclusive los diversos husos horarios generaron problemas en el registro de intervalos horarios.

- Se requiere mejorar la consistencia de los cálculos para ayudar a evaluar los beneficios de las inversiones en RI relacionadas con la confiabilidad. Algunas compañías distribuidoras, con niveles altos de desempeño, no lograron detectar mejoras, con los índices de confiabilidad estándar.
- Se comprobó que los algunos dispositivos de los clientes no son aún lo suficientemente inteligentes como para equilibrar la comodidad del cliente y las necesidades de la red, por lo que se requiere intervención manual que limita las posibilidades de optimizar el sistema.
- Se requiere investigar acerca de la política de incentivos a los clientes, evaluando si ellos prefieren usar señales de precios dinámicos o compensación mensual.

### **5.3. Caso “controversial” – SmartGridCity™ de Xcel Energy**

Uno de los objetivos del presente trabajo es mostrar algún caso que haya presentado dificultades en su implementación. En tal situación se encuentra la SmartGridCity™, proyecto de demostración de la empresa Xcel Energy, desarrollado en la ciudad de Boulder, Colorado, Estados Unidos, que buscaba crear la primera ciudad inteligente del mundo que fuera alimentada completamente por una RI, eficiente y autocontrolada.

Xcel Energy es un holding que provee electricidad a más de 3 millones de clientes y gas natural a cerca de 2 millones, en 8 estados de Estados Unidos. Su sede está en Minneapolis. Tiene ingresos anuales cercanos a 12 mil

millones de dólares. Su actividad en el sector eléctrico abarca desde la generación hasta la distribución, concentrándose ésta última solamente en Colorado, donde opera su filial *Public Service Company of Colorado* (PSCO). [48]

El proyecto fue desarrollado entre los años 2008 y 2009, con un presupuesto estimado de 100 millones de dólares. Su objetivo era proveer a sus clientes tecnologías de RI que aportaran beneficios ambientales, financieros y operativos. [49]

Como referencia, Boulder es una ciudad comparable con la comuna de Vitacura, en cuanto a la cantidad de habitantes (alrededor de 100 mil), y con La Florida, en cuanto a superficie (70 km<sup>2</sup>).

En octubre de 2011 la empresa consultora Metavu elaboró la evaluación del que era hasta ese momento el proyecto de demostración de RI más completo de Estados Unidos. En esos años las RI estaban en una etapa muy incipiente de desarrollo y no se contaba aún con subvención del gobierno. Según el informe, la evaluación arrojó beneficios para los clientes de la SmartGridCity™ y de la PSCO. Mejoró la confiabilidad, disminuyendo la cantidad de minutos sin servicio. Se implementaron tarifas diferenciadas para que los clientes pudieran gestionar su demanda. Se mejoró la información, publicando diariamente en la web los consumos detallados cada 15 minutos. [50]

#### **5.3.1.1. Lecciones aprendidas**

Algunas de las principales lecciones aprendidas son las siguientes:

- Para controlar la carga de los clientes se usó redes de área doméstica (HAN) que resultaron poco eficaces, con muchos requisitos, caras y de rápida obsolescencia tecnológica.

- Los medidores inteligentes presentaron muchos beneficios, pero el periodo de recuperación de su costo fue extremadamente largo.
- El monitoreo de la red de distribución en tiempo real aumenta la rapidez de detección y solución de fallas. Para mejorar el retorno de la inversión, el sistema de monitoreo debe desplegarse selectivamente en zonas de baja confiabilidad o donde la resolución de los problemas consume mucho tiempo, como por ejemplo en instalaciones rurales o subterráneas.
- Los equipos y software asociados a la DA, que reconfiguran automáticamente la red y que aíslan los efectos de las interrupciones, también deberían instalarse en forma selectiva, ya que sus beneficios económicos no eran tan evidentes, aunque sí mejoraron la confiabilidad.
- Los controles integrados de voltaje y potencia reactiva generan beneficios económicos potenciales altos a los clientes.

No obstante el informe de Metavu señala que el proyecto cumplió los objetivos establecidos (se implementó y actualmente se encuentra en funcionamiento un set de tecnologías de RI, se implementó un laboratorio de pruebas y se consiguió el conocimiento necesario para generar un caso de negocios y despliegue de nuevas inversiones), y fue declarado como exitoso por la empresa, existen críticos que señalan que el proyecto fue un fracaso.

Las principales críticas apuntan al sobrecosto del proyecto que fue traspasado y a la falta de comunicación con los clientes. La empresa admitió estos errores, señalando que debieron hacer mejores estimaciones de costos y moderar las expectativas de los clientes, quienes esperaban tener casas completamente equipadas con dispositivos electrónicos y ver el desarrollo de tecnologías de generación distribuida, vehículos eléctricos, baterías, turbinas eólicas y

generación solar. El sobrecosto de Xcel se estima en 45 millones de dólares. Se argumenta que los errores se cometieron debido a que se trataba de un proyecto innovador, no desarrollado anteriormente por ninguna otra empresa. En 2011 la Comisión de Servicios Públicos de Colorado le permitió a Xcel traspasar a sus clientes 28 millones de dólares de costo. Los 17 millones restantes sólo los podrá traspasar cuando se demuestre que sus clientes reciban beneficios reales. Esta decisión de la Comisión ha hecho que la Compañía evalúe nuevas inversiones. [51]

Lo más complicado para Xcel fue la mala evaluación que la ciudad realizó a los resultados del proyecto. Junto con ello, la empresa tenía otro conflicto con la ciudad, dado que Boulder tiene como meta reducir en un 80% las emisiones de gases de efecto invernadero hacia el año 2050, para lo cual aspira a que la energía provenga mayoritariamente de fuentes renovables. Sin embargo, la energía suministrada por Xcel, generada mayoritariamente en Colorado, provenía en un 80% de combustibles fósiles. La suma de estos dos elementos hizo que la ciudad iniciara un proceso de municipalización (compra) de la infraestructura local de Xcel, que actualmente se encuentra en un proceso legal. [52]

## **6. DESARROLLO EN CHILE**

En Chile se han desarrollado pocas experiencias en RI, destacándose los proyectos de micro-red Esuscon en Huatacondo y SmartCity en Huechuraba, éste último enmarcado en el plan de redes inteligentes de Chilectra.

### **6.1. ESUSCON**

Es el primer proyecto de micro-red inteligente desarrollado en Chile, que integró energías renovables no convencionales, generación diésel, almacenamiento de energía y participación activa de la comunidad en la operación del sistema y en el uso eficiente de la energía. Convirtió a Huatacondo en el primer poblado autosustentable energéticamente de Latinoamérica. De 10 horas de electricidad al día pasó a contar con un suministro permanente las 24 horas.

Huatacondo es un pequeño poblado de no más de 80 habitantes, ubicado en la comuna de Pozo Almonte, provincia del Tamarugal, Primera Región de Tarapacá. Su sistema eléctrico se basaba en un generador diésel de 150 kVA, operado manualmente por la comunidad. Suministraba energía sólo entre las 14 y 24 horas, de lunes a viernes, y de 16 a 24 horas los días sábado y domingo. El elevado costo del combustible y la dificultad logística del abastecimiento impedía mayor disponibilidad eléctrica. Su consumo principal se caracterizaba por casas particulares, alumbrado público ineficiente y una bomba para llenar el estanque de agua potable. [53]

La micro-red fue instalada en septiembre de 2010. Cuenta con 84 paneles fotovoltaicos que aportan el 70% de la energía consumida (23 kW), un aerogenerador (3 kW), un motor diésel que genera pocas horas en la noche y 96 baterías que aportan energía durante la madrugada. El uso eficiente se logra mediante auto regulación de la demanda, gracias a medidores que señalan la oferta de energía. Esta micro-red significó un cambio radical en la calidad de vida de los habitantes que, por ejemplo, ahora cuentan con internet en el

colegio, calles alumbradas, televisión y refrigeración a toda hora, y en la posta los pueden atender de noche en caso de accidentes. [54]

El proyecto fue desarrollado por la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi en conjunto con la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

Si bien se demostró que es un sistema viable, es caro de implementar, por lo que necesita aporte privado, como sucedió en este caso, o aporte estatal. El costo total del proyecto, considerando diseño, implementación y marcha blanca, bordeó los 300 millones de pesos. [55]

## **6.2. SMARTCITY SANTIAGO**

En el evento anual de “Metering Latin America” y “Smart Grids Latin America”, desarrollado el año 2009 en San Pablo, Brasil, Chilectra presentó las principales características de su plan de redes inteligentes, el cual forma parte de la estrategia regional del holding, consistente en evolucionar la red eléctrica actual hacia un sistema eléctrico dinámico y bi-direccional en cada una de las seis distribuidoras del Grupo Endesa en Latinoamérica, bajo principios de rentabilidad compartida con los clientes.

El objetivo de plan es la integración de la infraestructura eléctrica con las nuevas tecnologías de la electrónica, sistemas de información y comunicaciones. [56]

### **6.2.1. Plan de redes inteligentes**

Sus líneas de acción son: [57]

### **6.2.1.1. Propuestas de valor para los clientes**

Incluye: plan piloto de domótica en clientes comerciales (automatización y control de iluminación y climatización); pasar, en mediano plazo, de la telemedición de 85 mil clientes residenciales a la telegestión de 390 mil; solución “Full Electric” para edificios (24 mil departamentos); tarifas horarias residenciales; “Mix Solar-Electric” para agua caliente sanitaria; evaluar la factibilidad de un piloto de AMI; administración de generadores de respaldo y gestión de la demanda de clientes; avanzar en monitoreo del alumbrado público.

En 2005 Chilectra incorporó a la política de la compañía el concepto de eficiencia energética para sus clientes, a través de la implementación del sistema “Full Electric” para viviendas 100% eléctricas, que hoy corresponde a su línea de Ecoenergías, cuyo foco es investigar, desarrollar e implementar modelos de negocio asociados a soluciones de energías renovables y eficiencia energética, acordes a las necesidades de los clientes. [58]

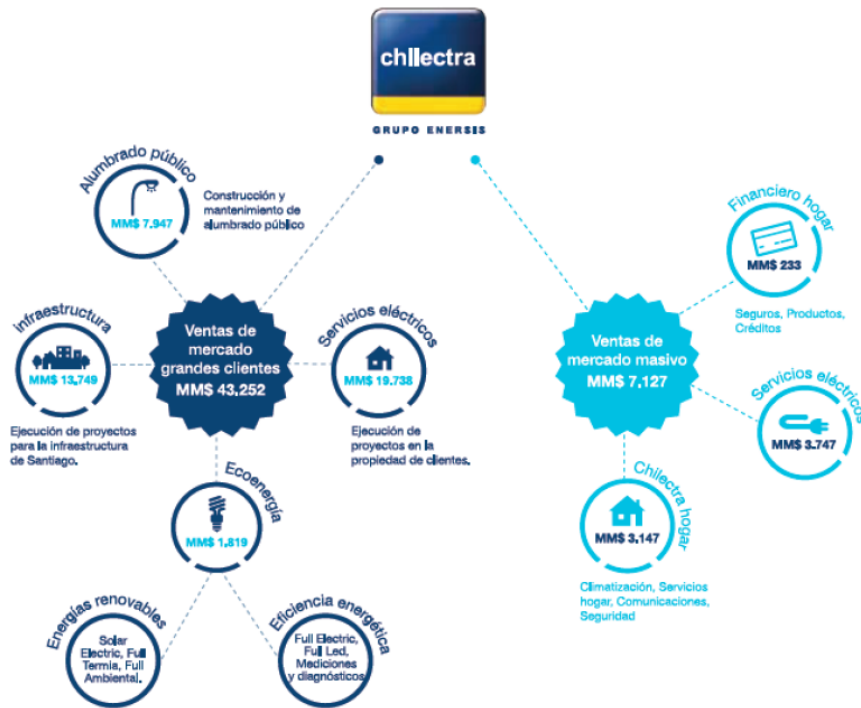
En 2012, Chilectra desarrolló un piloto de medición inteligente, pionero en Chile y en la región, en un conjunto de 100 clientes residenciales en la comuna de Huechuraba, Región Metropolitana, pertenecientes a 3 sectores de diversos grupos socioeconómicos y con diferentes características de sus viviendas. El piloto tuvo como objetivo testear las funcionalidades de los medidores bajo las condiciones de las redes eléctricas y de comunicaciones de Santiago. [59]

A fines de 2015 se inició la introducción progresiva del sistema de medición inteligente en la comuna de La Florida. En 2016 se espera cambiar los primeros 50 mil medidores. [60]

En 2013 Chilectra instaló más de 265 m<sup>2</sup> de colectores solares térmicos destinados al sector industrial, inmobiliario y municipal. Además, completó la instalación de 3.014 luminarias LED para la Municipalidad de La Florida, y

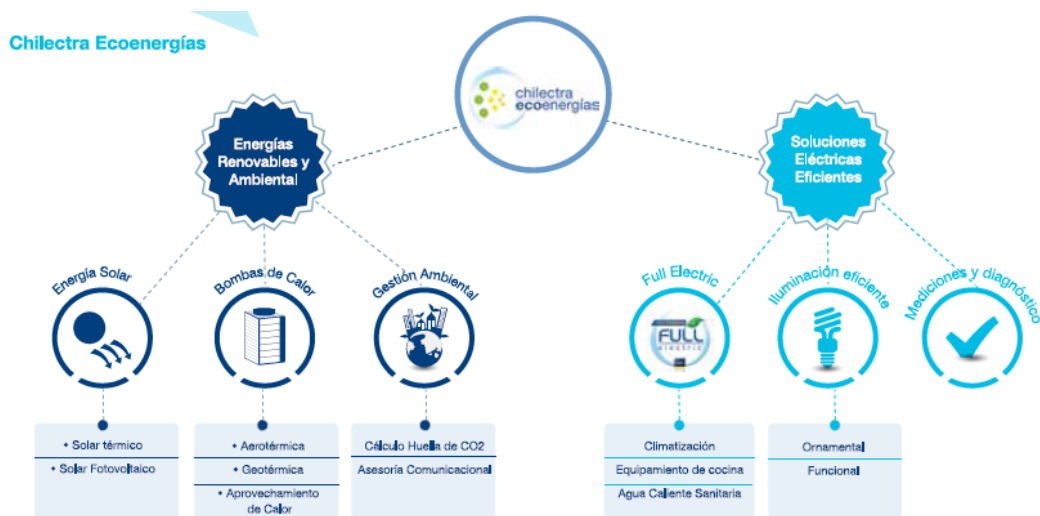
realizó proyectos de iluminación ornamental (Providencia y Huechuraba) y funcional LED (para diversas comunidades y pymes). En 2015 se adjudicó el primer proyecto a largo plazo en iluminación eficiente fuera del área de concesión de la Compañía (San Antonio). La instalación y mantención de iluminación LED en alumbrado público municipal avanza en varias comunas. [58] [60]

Si bien las fuentes de ingresos de Chilectra provienen principalmente de sus ventas de energía, un 5% de sus ingresos totales corresponden a ventas de servicios, principalmente al mercado de grandes clientes, tal como se observa en la siguiente Figura:



**Figura 9:** Ingresos por Venta de Servicios 2012

Fuente: Informe de Sostenibilidad 2012, Chilectra



**Figura 10:** Productos y Servicios Eficientes, Ecoenergías 2012

Fuente: Informe de Sostenibilidad 2012, Enersis

### 6.2.1.2. Automatización, monitoreo y control de la red

Incluye: automatización de subestaciones; sistema de desprendimiento automático de carga; plan progresivo para automatización de la red de media tensión (telegestión y telecontrol en sector rural, y de reconectores y seccionadores); monitoreo de transformadores en subestaciones de enlace y transformadores de distribución; monitoreo de carga dinámica de líneas de alta tensión; monitoreo de redes subterráneas de media tensión; monitoreo de bancos de condensadores para el control de consumo de reactivos; sistema avanzado de gestión de cuadrillas para atención de fallas; monitoreo de transformadores por voltaje y caídas de servicio; monitoreo AMI para gestión de apagones.

A la operación de la red de media tensión en 2012 se incorporaron 96 nuevos equipos telemandados (automatización), los cuales ayudan a mejorar la

continuidad de suministro, generando información bidireccional y permitiendo su operación remota desde el Centro de Operación del Sistema (en 2015 se sumaron 155 más, con lo que el parque total de equipos supera actualmente las 700 unidades); se implementó el primer proyecto de auto-reconfiguración avanzada de la red de media tensión para atender y mejorar la calidad de servicio entregada a los clientes ubicados en Colina (2012) y Lampa (2013), permitiendo, ante una falla en la red, reconocer el tramo, aislarlo y recuperar el servicio a los clientes que están fuera del trecho que presenta la falla, de manera totalmente automática en menos de 3 minutos; comenzó la implementación de los primeros equipos telecomandados a nivel subterráneo con nuevas tecnologías; y comenzó el desarrollo de la ingeniería de automatización de la distribución para el proyecto Smartcity Santiago. [56] [58] [59] [60]

En 2015, se implementó la primera etapa del Sistema de Telecontrol de Media Tensión (STM), correspondiente a un SCADA dedicado para el control y supervisión remoto de los equipos de telecontrol instalados en la red. [60]

### **6.2.1.3. Comunicaciones y Sistemas**

Incluye: modernización de la plataforma de medida de puntos de compra; plataforma integral de medidas; plataforma para gestión del mantenimiento del alumbrado público (SIGMA); sistema de gestión y telesupervisión de las redes de comunicaciones; plan de mejoramiento de la red troncal y la red de acceso; sistema de radio comunicaciones móviles; desarrollo de redes de última milla (conexión de usuarios finales a redes de distribución) y mix de opciones tecnológicas adecuadas; sistemas de control para la gestión eficiente de la red eléctrica y los clientes; establecer relaciones de correspondencia con los operadores de telecomunicaciones para lograr servicios de valor; contar con los

sistemas de información que permitan el procesamiento analítico de mayores volúmenes de información.

#### **6.2.1.4. Eficiencia operativa y gestión de activos y del personal**

Incluye: micro-medición en transformadores de baja tensión (monitoreo de 10% de los clientes); macro-medición en alimentadores de media tensión (monitoreo de 13% de los clientes); control de la demanda en horas de punta; gestión operativa-comercial de clientes industriales (oferta de potencia de invierno, OPI); proyectos de control de pérdidas no técnicas (red de acometida concentrada y telemedida electrónica) en 10 mil clientes; corte y reposición por radio frecuencia para redes subterráneas; mantener control de pérdidas de energía y el hurto; mejorar planificación de las redes y estimación de la demanda; agilizar atención de emergencias; optimizar operación y mantenimiento de la red a mínimo costo; contar con trabajadores capacitados y con tecnologías apropiadas para operar en forma segura y eficiente.

El objetivo de la OPI es disminuir o mantener un nivel similar de demanda entre abril y septiembre, meses en los cuales el sistema energético de su zona de concesión está sometido a mayor exigencia (período punta), mediante un acuerdo comercial de desconexiones. [58]

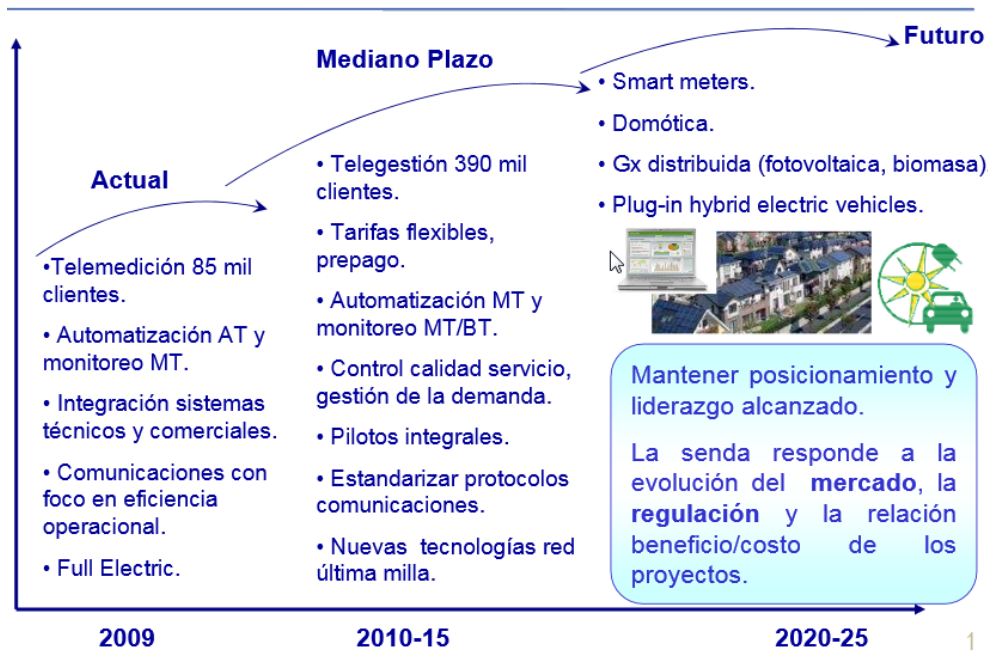
#### **6.2.1.5. Generación distribuida y energías renovables**

Incluye: piloto de administración remota de grupo generador en cliente industrial; piloto fotovoltaico residencial; desarrollo de propuesta normativa para conexión de pequeños medios de generación en baja tensión; ofrecer telegestión de grupos generadores para control de la demanda de punta; permitir la integración de la generación distribuida (fotovoltaica, biomasa,

eólica), asegurando la estabilidad de la red; contar con infraestructura y señales económicas para mejorar el factor de carga de las redes.

Como resumen de su evolución en el tiempo, en la siguiente Figura se observa la visión futura de RI que Chilectra se planteó en el año 2009 y que ha ido cumplimiento paulatinamente.

## Visión Futura Redes Inteligentes de Chilectra



**Figura 11:** Plan de Redes Inteligentes de Chilectra

Fuente: Chilectra, octubre 2009

### 6.2.2. Smartcity Santiago

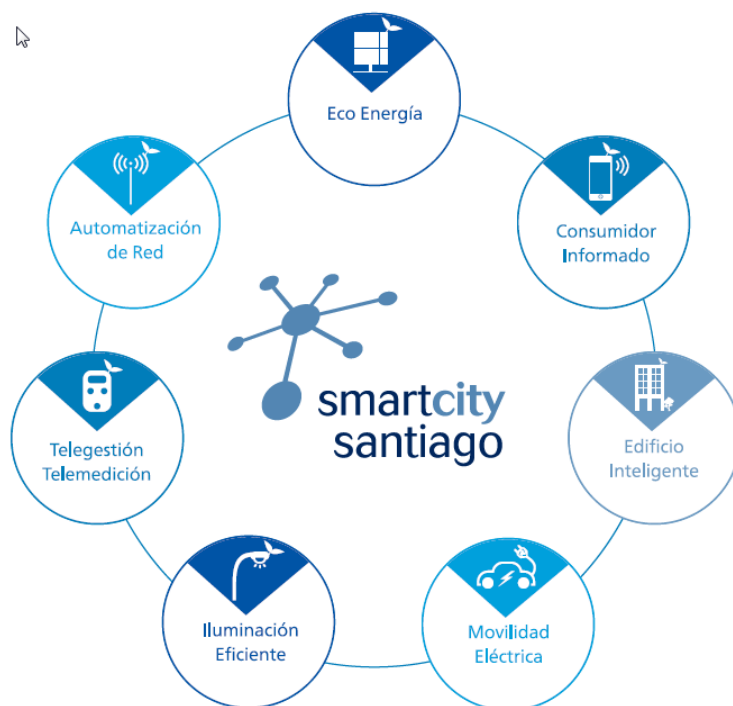
Una “Smart City” o ciudad inteligente, es un tipo de desarrollo urbano sostenible, cuyo propósito es satisfacer las necesidades básicas de los

habitantes en términos económicos, sociales y ambientales. Su concepto tiene un alcance distinto al de RI pues abarca áreas que éstas no consideran.

En el mundo ya hay muchos proyectos de ciudades inteligentes, que se centran en uno o varios ejes, destacando: 1. Economía del conocimiento (Luxemburgo, Dubai, Malta, Kochi, Santander), 2. Transporte y movilidad urbana (Southampton, Yokohama, Singapur, Brisbane, Estocolmo, Maastricht, Valladolid y Palencia), 3. e-Gobierno y participación ciudadana (Tampere, Turku, Albuquerque), 4. Medio ambiente y ecoturismo (Copenhague, Vancouver, Melbourne, Montpellier, Brujas, Sidney, Zurich), 5. Urbanismo inteligente y Eficiencia Energética, IoT “internet of things” (Masdar, Sondgo, Málaga, Amsterdam), y 6. Sanidad y actividades culturales (París, Londres, Salzburgo, Granada). [61]

Smartcity Santiago es un Proyecto Piloto diseñado por Chilectra a fines del año 2011 en el Parque de Negocios Ciudad Empresarial de la comuna de Huechuraba, Región Metropolitana. Es un proyecto similar al desarrollado en Málaga. Se inserta en el Plan de Redes Inteligentes de la compañía. Cuenta con una inversión total de 10 millones de dólares.

Chilectra es la empresa de distribución de energía eléctrica más grande del país, que opera en 33 comunas de la Región Metropolitana y abastece a 1,7 millones de clientes. Es propiedad de la compañía italiana Enel, a través de Enersis.



**Figura 12: Smartcity Santiago**

Fuente: Informe de Sostenibilidad 2013, Chilectra

La implementación del piloto partió en agosto de 2012 y, si bien se esperaba estuviera completamente operativo el primer semestre de 2013, fue inaugurado en julio del año 2014. [59] [62]

Con este prototipo la empresa busca “proyectar el Santiago del mañana”, incorporando a la vida cotidiana nuevas tecnologías, innovadoras, eficientes y sostenibles, a fin de ser replicadas posteriormente a mayor escala y ayudar a disminuir la huella de carbono. Las tecnologías que se están poniendo a prueba son: [59]

### 6.2.2.1. Implementación de vivienda inteligente con sistema domótico

El Centro Tecnológico Smartcity Santiago implementó un sistema de operación domótica, que permite la administración remota de los aparatos de uso diario, como si fuera el interior de una vivienda u oficina. [63]

### 6.2.2.2. Transporte público eléctrico: Buses y taxis

En 2013 Chilectra presentó el primer bus eléctrico (marca china BYD), que incorpora la electricidad en todas sus funciones y traslada a estudiantes de la Universidad Mayor entre la estación del Metro Escuela Militar y su campus universitario en Huechuraba. También colaboró con la Secretaría Regional Ministerial de Transportes en la definición de los aspectos técnicos de las bases de licitación para 50 cupos de taxis básicos eléctricos, que desde fines de 2015 se encuentran circulando por la capital. [60]



**Figura 13:** Bus y taxi eléctrico

Fuente: [http://autocar-byd.dev.rojo.kitekology.com/images/noticias/byd\\_ee\\_2.jpg](http://autocar-byd.dev.rojo.kitekology.com/images/noticias/byd_ee_2.jpg)

El rendimiento de un taxi eléctrico es muy superior a los demás. Con datos del año 2014, el kilómetro recorrido con gasolina costaba \$ 86, el kilómetro recorrido con gas costaba \$ 65 y el kilómetro recorrido con electricidad, \$ 17. Como referencia, en la ciudad china de Shenzeng existen más de mil taxis eléctricos y más de 500 buses eléctricos, en cambio en Latinoamérica sólo en Colombia hay 50 taxis, y no hay buses, excepto el de Chile. [63]

### **6.2.2.3. Instalación de “electrolineras”**

Desde 2013 Smartcity Santiago cuenta con 10 diez puntos de recarga para atender el bus y vehículos eléctricos, en las comunas de Santiago, Vitacura, Las Condes y Huechuraba.



**Figura 14:** Electrolinera

Fuente: Memoria Anual 2015, Chilectra

#### **6.2.2.4. Instalación de medidores inteligentes con comunicación bidireccional entre el medidor y los sistemas informáticos de la compañía.**

En 2012 se instalaron medidores inteligentes CERM1, de tecnología Enel, certificados por la SEC, a 100 clientes residenciales de tres sectores socioeconómicos en Huechuraba. Esto permitió evaluar el funcionamiento de los equipos bajo las condiciones de las redes eléctricas y de las redes de comunicaciones de Santiago. Junto con ello, a los clientes se les envió informes personalizados de sus consumos y recomendaciones de eficiencia energética.

[56]

El sistema de medición inteligente de Chilectra está integrado por equipos en terreno (medidores inteligentes y concentradores) y por un software especializado de gestión que permite la programación, lectura y operación remota de los medidores, en coordinación con la información comercial de los clientes correspondientes. La información recogida por el medidor es enviada a un concentrador ubicado cerca de la subestación que alimenta la red específica del medidor. El concentrador es el equipo intermedio entre el centro de operación y los medidores inteligentes. La comunicación del concentrador con los medidores se hace vía PLC y con el centro de operación vía GPRS.

## Piloto medidores inteligentes



**Figura 15:** Piloto de medidores inteligentes

Fuente: Investigación, desarrollo y aplicación de redes inteligentes de energía (Smart Grid): Proyecto Smartcity Santiago [20]



**Figura 16:** GPRS

Fuente: Congreso Bienal Internacional CIGRE 2011, Chilectra

Chilectra asigna los siguientes beneficios claves a estos medidores: lectura remota automática que minimiza errores humanos en la toma de los datos de consumo y disminuye ingreso del personal de terreno a los domicilios; disponibilidad de mayor información con registro cada 15 minutos que posibilita obtener curvas de consumo particular; monitoreo individual de la calidad de suministro; implementación de tarifas eléctricas diferenciadas, mediante programación y cambio automático de hora, que fomentan el uso eficiente de la energía; agilización de la detección y manejo de fallas, incluyendo corte y reposición del servicio en forma remota, y eficiencia energética y gestión inteligente de la demanda, a través de mayor información que ayuda a los clientes a tomar conciencia de sus consumos. Además, estos medidores permiten calcular la energía y potencia activa y reactiva, voltaje, corriente efectiva y potencia media y son capaces de medir la inyección de energía a las redes provenientes de sistemas de generación distribuida, y determinar medición neta. [58] [64]

Para incentivar el aplanamiento de la curva de demanda, Chilectra ofrece a sus clientes una tarifa de energía diferenciada en tres tramos: día, noche y punta. Esta tarifa horaria residencial (THR) se basa en la tarifa BT-1 (normal) que está regulada por ley. Durante todo el año tiene un descuento de 30% en la noche, desde las 22:00 horas hasta las 08:00 horas. En invierno, de lunes a viernes, se aplica un recargo de 30% en horario punta, desde las 18.00 horas hasta las 22:00 horas. El resto del día funciona con tarifa normal. Y en verano, el descuento de la noche se mantiene, y se aplica tarifa normal de 08:00 a 22:00 horas, sin ningún recargo. A los clientes que opten por cambiar su tarifa, Chilectra está obligada por ley a informarles anualmente la comparación entre la facturación de los últimos 12 meses con la THR y la tarifa anterior, y en el caso que la facturación con la THR sea mayor, a partir del mes siguiente deberá volver a facturar con la tarifa anterior, a menos que el cliente señale lo contrario. [65]



**Figura 17:** Tarifa Flexible THR

Fuente: [www.chilectra.cl/tarifas](http://www.chilectra.cl/tarifas)

#### 6.2.2.5. Incorporación de infraestructura eléctrica telecomandada

Se implementó monitoreo de cables subterráneos y de alta tensión, y de transformadores de distribución. También se instaló equipos que permiten aislar automáticamente las eventuales fallas y reponer el servicio de forma más ágil y oportuna. [58]

#### 6.2.2.6. Tecnología solar para el calentamiento de agua

Se impulsó el desarrollo de instalación de sistema de agua caliente sanitaria a través de colectores solares (termosifón) y de bombas de calor que capturan la energía térmica del ambiente (tierra, aire, agua de napas subterráneas, lagos o lagunas) para ser utilizada en climatización y calentamiento de agua y/o fluidos. [58]



**Figura 18:** Termosifón de Chilectra

Fuente: [www.registrocdt.cl](http://www.registrocdt.cl)

#### 6.2.2.7. Sistema de generación fotovoltaica

Se instaló un sistema de generación fotovoltaico en el centro de operación de Smartcity Santiago. [58]



**Figura 19:** Centro de Operación Smartcity Santiago

Fuente: [www.pipartnergroup.com/](http://www.pipartnergroup.com/)

#### **6.2.2.8. Letreros de data con mensajería variable en paraderos**

Por ejemplo, con información del clima, noticias y valores económicos.

#### **6.2.2.9. Alumbrado público y semáforos LED**

En la Ciudad Empresarial se instaló alumbrado público LED con gestión a distancia, cámaras de video vigilancia con estándares de nivel mundial e iluminación ornamental. [58] [63]

#### **6.2.2.10. Iluminación ornamental para áreas verdes**

Chilectra se adjudicó en Huechuraba el arriendo, instalación y mantención de distintos adornos urbanos, con luces mini-LED. [58]

#### **6.2.2.11. Wi-fi público de libre acceso y banda ancha para teléfonos celulares**

Conectividad libre en la Ciudad Empresarial, mediante un convenio con Entel. [58]

#### **6.2.2.12. Evaluación del plan piloto – percepción de demanda**

A través de una encuesta se evaluó la percepción de los clientes del plan piloto. La mayoría de los clientes declaró estar satisfechos con los medidores inteligentes, destacándose la mejor evaluación realizada por los segmentos de menores ingresos del grupo encuestado, quienes resaltaron que la nueva información les permitió tomar conciencia de las prácticas de ahorro de energía.

Hubo diferencias en la evaluación de la comprensión de los datos entregados por Chilectra, dependiendo del nivel socioeconómico y etario, por lo que resulta relevante mejorar esta situación. Lo mismo sucede con la brecha digital, ya que la diversidad de canales para recibir la información generó evaluaciones distintas, en función de las preferencias individuales. [20]

## **7. COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Por todo lo que se ha visto, tanto en Europa como en Estados Unidos hay muchas similitudes en la forma de enfrentar el desarrollo de las RI:

- Programas de apoyo gubernamental. Subvención.
- Visión compartida acerca del aporte de las RI al sector energético en particular y a la economía en general.
- Vanguardia en los desarrollos tecnológicos. Inversión en I+D.
- Información disponible. Resultados y lecciones aprendidas.

En cuanto a la inversión en RI, en Estados Unidos ha sido mucho más intensa. Entre los años 2010 y 2013, en Estados Unidos se invirtió un promedio de 4.500 millones de dólares anuales. En cambio en la Unión Europea, los años 2011 y 2012 registraron promedios de 900 millones de dólares (700 millones de euros por 1,3, correspondiente al tipo de cambio dólar/euro que existía en esos años).

Si la misma comparación se normaliza por cantidad de habitantes, se puede ver que la diferencia se amplía, ya que en Estados Unidos la inversión de los últimos años asciende a 14,1 dólares por habitante y la de la Unión Europea sólo a 1,8.

Como se vio, en Chile, el proyecto Smart City de Chilectra destinó un presupuesto de 10 millones de dólares. Si se considera una inversión de 5 millones de dólares por cada uno de los 2 años que demoró su puesta en marcha, tenemos una inversión promedio de 0,7 dólares por habitante, en su área de cobertura. Lo anterior, estimando un promedio de 4 habitantes por cada uno de sus 1,7 millones de clientes. Si bien este valor está muy lejos de lo que se invierte en Estados Unidos, sólo es un poco menos de la mitad de lo que se hace en promedio en la Unión Europea.

**Tabla 4:** Inversión en RI en Estados Unidos, Unión Europea y Chilectra

	<b>Estados Unidos</b>	<b>Unión Europea</b>	<b>Chilectra</b>
Inversión promedio anual (MMUS\$)	4.500	900	5
Población (millones de hab.)	319	508	7
Inversión per cápita (US\$/hab)	14,1	1,8	0,7

Fuente: elaboración propia con datos DOE y JRC

Sin embargo, debe destacarse que este promedio de Chilectra no es representativo de la inversión en RI en Chile, donde, para igualar la inversión promedio de Estados Unidos, el país debería hacer una inversión anual de 240 millones de dólares. Y para igualar la inversión en la Unión Europea, la inversión total anual debería llegar a 30 millones de dólares.

Si la comparación se hace a nivel de inversión promedio por proyecto, los 10 millones de dólares de Chilectra se comparan muy bien con el promedio de 9 millones de dólares de la Unión Europea.

En cuanto al financiamiento, en Estados Unidos destaca mayormente la inversión privada. En cambio, en la UE prácticamente la mitad de los recursos son aportes gubernamentales.

**Tabla 5:** % Financiamiento inversión en RI en Estados Unidos y UE

	<b>Estados Unidos</b>	<b>Unión Europea</b>
Inversión privada	77%	49%
Inversión gubernamental y otra	23%	51%

Fuente: elaboración propia con datos DOE y JRC

Al mirar el despliegue de medidores inteligentes, Estados Unidos lleva la delantera, lo que resulta consistente con el mayor nivel de inversión. Al año 2015 tenían instalados 65 millones de unidades, equivalentes a un 30% de cobertura. En cambio en la UE, la última información reportada al año 2014 señalaba 45 millones con una cobertura cercana al 20%.

**Tabla 6:** % Cobertura medidores inteligentes

	<b>Estados Unidos</b>	<b>Unión Europea</b>
Medidores inteligentes (millones)	65	45
Cobertura	30%	17%
Información al año	2015	2014

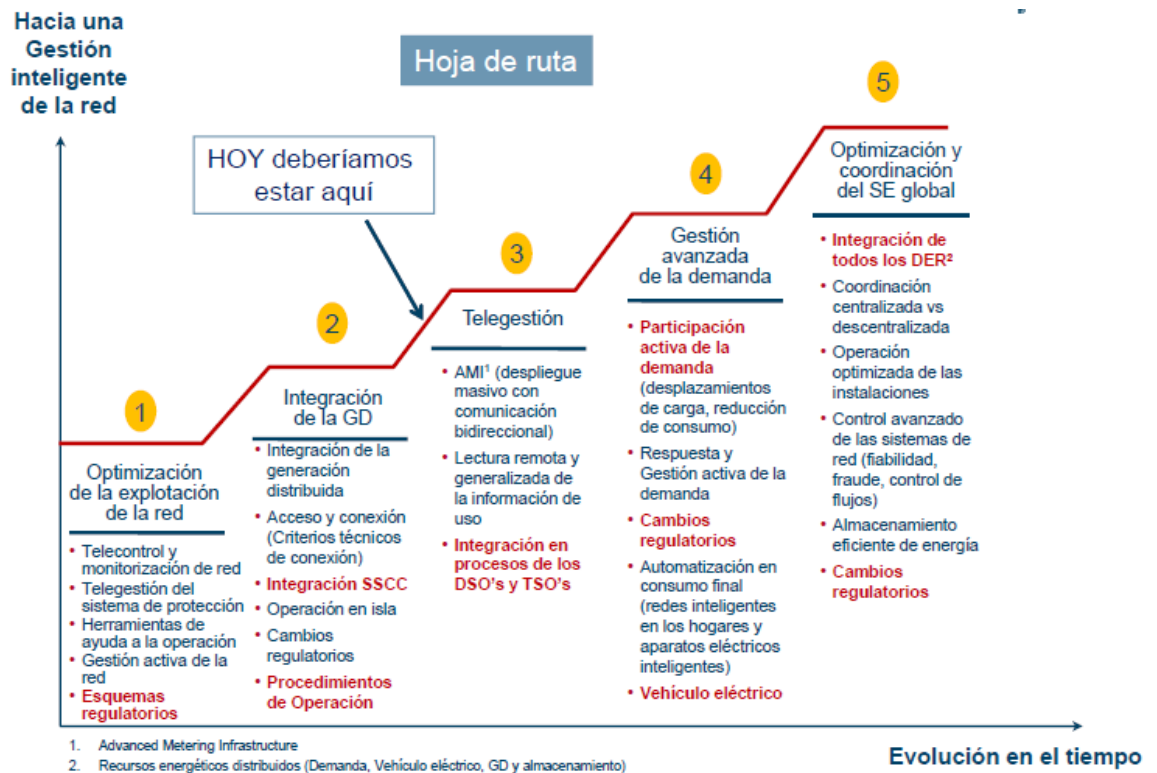
Fuente: elaboración propia con datos DOE y JRC

En cuanto a los beneficios esperados, como se mencionó anteriormente, un estudio de McKinsey proyectó que las RI completamente desplegadas podrían aportar a Estados Unidos 130.000 millones de dólares anuales, a partir del año 2019, lo que equivale a un 0,7% de su PIB.

Por su parte, el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía de España estimó que las RI aportarían a ese país beneficios anuales de 7.900 millones de euros. Coincidentemente, este valor también es equivalente al 0,7% del PIB, lo cual transforma a este guarismo en una estimación bastante sólida acerca del beneficio potencial del despliegue de las RI en el mundo.

## **8. DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES**

Según el análisis que hace David Treballe, Presidente de la Fuerza de Tarea (*Chairman of the Task Force DSOs*) que abarca las cuatro diversas asociaciones de distribuidores europeos (Eurelectric, GEODE, EDSO for Smart Grids, CEDEC) y que representa a prácticamente 2.700 compañías de distribución, a fines de 2012 en Europa se encontraban en una etapa de transición, desde la integración de la gestión de la distribución hacia la telegestión. En la hoja de ruta que se muestra a continuación se observan los próximos pasos que en Europa tienen en mente y que son sus propios desafíos.



**Figura 20:** Un proceso de transformación: Smart Grid

Fuente: Gas Natural Fenosa, diciembre 2012

En general, los desafíos futuros que tienen los países para desplegar las RI a nivel mundial son muchos y significativos, y dicen relación con superar las barreras mencionadas en capítulos anteriores, para avanzar en la hoja de ruta que hayan planificado.

En los siguientes párrafos se presentará una propuesta personal de los desafíos más importantes, de alcance internacional, y particularmente para Chile.

## **8.1. Desafíos internacionales**

### **8.1.1. Tecnológicos**

Se necesita sostener e incrementar la inversión en investigación, desarrollo e innovación.

Los países con voluntad y capacidad profesional deben seguir destinando recursos a I+D para que los avances tecnológicos en RI alcancen un grado de madurez tal que permita su penetración en los mercados y se traduzcan finalmente en una disminución de costos que posibilite su masificación.

### **8.1.2. Estándares**

La incorporación de nueva infraestructura de tecnología avanzada representa un desafío técnico que va mucho más allá de la simple conexión de las TIC a la red eléctrica tradicional.

Los dispositivos o equipos asociados a la electrónica de consumo y telecomunicaciones tienen una vida útil, por obsolescencia, que por lo general no supera los cinco años. Es por esta razón que se requiere una gran cantidad de estándares de interoperabilidad y seguridad cibernética, que permitan a las compañías distribuidoras comprar equipos o piezas de equipos con la total confianza de que van a funcionar o se van a comunicar adecuadamente con la infraestructura existente.

El objetivo no es imponer especificaciones técnicas detalladas a nivel mundial sino que focalizarse en las interfaces clave, generando estándares de interoperabilidad eficientes que den espacio a la innovación.

El desafío más importante en esta materia es asegurar que las RI se comuniquen. No sólo que transmitan datos, sino que sean capaces de aprovechar todo el potencial que cada proveedor de tecnología propone como

valor. Se debe minimizar la incompatibilidad entre versiones o entre similares equipos pero de diferentes proveedores, para maximizar el rendimiento de las inversiones.

### **8.1.3. Privacidad**

Un desafío muy complejo para el desarrollo de las tecnologías de la información y comunicación ha sido el combate permanente contra las amenazas de virus, “spam” (correo basura), troyanos (maliciosos), suplantación de identidad y otros.

En Estados Unidos ya se detectó problemas con la privacidad de los datos de clientes en RI, como por ejemplo: seguimiento del comportamiento del cliente y la vigilancia en tiempo real. Se ha visto vulnerada la información del estilo de vida e incluso el estado de salud de los consumidores, mediante la captura de datos de uso de electrodomésticos, sensores de movimiento y dispositivos relacionados con la medicina.

La seguridad de la información de las RI está siendo abordada desde varios ángulos. Para proteger la transmisión de datos a través de internet se usan las VPN (redes privadas virtuales). Para proteger la autenticación de identidad, existen muchos protocolos de validación relacionados con claves de acceso.

En Estados Unidos, el Departamento de Comercio y el Instituto Nacional de Estandarización y Tecnología publicó en septiembre de 2010 las Directrices para la Seguridad Cibernética de la Red Inteligente (Guidelines for Smart Grid Cyber Security), que presenta un marco analítico inicial para que las organizaciones pueden desarrollar estrategias de seguridad eficaces, adecuadas sus propias características, relacionadas con la red inteligente, sus riesgos y vulnerabilidades.

## **8.2. Desafíos para Chile**

### **8.2.1. Visión país**

El primer desafío que tiene el país es alinear la visión de futuro respecto a RI.

Chile ha experimentado cambios en el último tiempo. La elaboración de un Agenda de Energía en el 2014 y una Política Energética de Largo Plazo (2050) en el 2015, ha sido muy bien valorada por la industria. Ambos documentos fueron construidos con la participación de diversos actores sociales, políticos, empresariales y académicos.

Este modelo participativo debería aplicarse también para construir una visión del camino que Chile quiere recorrer en materia de RI. Se debe consensuar los objetivos, definir las prioridades y diseñar una arquitectura que oriente la legislación y las inversiones futuras.

Lo óptimo sería que el país defina el modelo de redes eléctricas inteligentes que quiere construir y elabore una estrategia de desarrollo apropiada de mediano y largo plazo, con definición de etapas, alcance, plazos, recursos y metas. El rol coordinador del Estado aquí es relevante.

### **8.2.2. Fomentar los proyectos de generación distribuida**

Chile es un país privilegiado en materia de irradiación solar, particularmente desde la Primera hasta la Cuarta Región, donde los índices de radiación son unos de los más altos del mundo. Aun así, la generación solar fotovoltaica chilena es apenas un décimo de lo que genera Alemania, inclusive medido en GWh per cápita. Esto resulta más llamativo aun al saber que la radiación promedio de Alemania es similar a la de Osorno (3,1 kWh/m<sup>2</sup> día). [66]

Si bien el costo de los paneles de generación fotovoltaica ha disminuido considerablemente en los últimos años, la legislación nacional de *Net Billing*, ley 20.571, no ha resultado de gran ayuda para estimular su masificación a nivel residencial, comercial o de pequeñas industrias, con potencia menor a 100 kW.

Esta normativa requiere una revisión ya que resulta poco atractiva y no está dando los resultados esperados. En primer lugar, el límite de 100 kW está inhibiendo la participación de interesados con mayor capacidad de aportar energía a la red. Y en segundo lugar, y quizás más importante, el mecanismo de valorización de las inyecciones al mismo precio que las empresas distribuidoras traspasan el costo de la energía a sus clientes, sin considerar costos de transmisión y distribución, aunque resulte económicamente razonable de explicar, no es un verdadero estímulo. En la práctica esto implica que las inyecciones son valorizadas aproximadamente al 50% del precio que paga el cliente. En otros países esta valorización es a un precio mucho mayor.

Otra manera de apoyar es a través de subsidios. En el mismo caso de Alemania, líder mundial en generación solar fotovoltaica, el 90% de los paneles solares instalados en el país está sobre los techos de las casas o edificios, gracias al sistema de subsidio denominado *Renewable Energy Feed in Tariff* (REFIT). Este sistema de apoyo permite a todos los generadores renovables que inyecten energía al sistema, recibir un precio especial fijado por ley, mayor al que pagan los consumidores. Estos sistemas REFIT son eficaces cuando la tarifa o incentivo permite asegurar rentabilidad.

### **8.2.3. Equilibrio oferta - demanda**

Chile no ha estado ajeno a la mayor volatilidad y a los altos precios de los combustibles fósiles. La oposición de la ciudadanía a la construcción de megacentrales hidráulicas, centrales a carbón, torres de transmisión e incluso

centrales a gas, ha generado tensión en las previsiones futuras de la capacidad para equilibrar la oferta y la demanda de energía eléctrica.

El desarrollo económico del país y la inclusión social requieren energía limpia, económica y confiable. Para garantizar el suministro, el país no debe quedarse atrás en el despliegue de las RI. Debe modernizar su sistema eléctrico internalizando los beneficios que ya han sido demostrados en los países más avanzados. Estados Unidos y la Unión Europea son claros ejemplos de ello.

#### **8.2.4. Apoyo financiero para planes pilotos e I+D**

Europa y Estados Unidos, los referentes de esta tesis, tienen programas de apoyo a la inversión en RI, tanto para I+D como para planes pilotos de demostración.

Como soporte a una visión país que considere modernas RI, el gobierno nacional necesita implementar programas de apoyo, con objetivos claros y presupuestos concursables.

#### **8.2.5. Empresa distribuidora - empresa modelo**

Por ley, la manera en que las empresas distribuidoras recuperan su inversión es a través del valor agregado de distribución, que se basa en una empresa modelo eficiente de bajos costos y calidad de servicio vigente.

Este mecanismo, que presiona a las empresas a reducir costos para obtener utilidades, limita la velocidad del despliegue de tecnologías innovadoras en RI.

Lo mismo sucede con las empresas de transmisión, que recuperan su inversión con una tarifa que debe cubrir su valor de inversión y que compiten por costo en las licitaciones de construcción de nuevas obras.

El desafío es adecuar los mecanismos de tarificación de las empresas de distribución y transmisión, acorde a una estructura de costos de inversión y operación moderna, que contemple inversión en RI.

#### **8.2.6. Capacitación**

Las experiencias de otros países, como Dinamarca, han demostrado que la participación activa de los consumidores finales en pos de la optimización de su consumo eléctrico se consigue fácilmente con mejor información y capacitación.

La información de consumos propios históricos y de referencia estimula el sentido del logro y orienta el cambio de las prácticas de uso.

Si bien en Chile aún no hay amplio acceso a tecnologías inteligentes que orientan cambios en los patrones de consumo, se recomienda que su implementación sea acompañada de capacitación a los usuarios finales, para evitar que vuelvan a viejos hábitos.

#### **8.2.7. Modelo de negocio**

No se trata de un único modelo de negocio, sino que de todos aquéllos que faciliten la implementación de RI.

Los modelos de negocios dependen también de los marcos de regulación, los cuales se deben adaptar o actualizar para no transformarse en trabas al desarrollo económico. Un ejemplo claro de esto lo constituyen las economías colaborativas (alojamiento para viajeros, autos compartidos), que han irrumpido con fuerza en muchas partes del mundo, pero con dificultades ya que operan fuera del marco legal. Lo correcto aquí no es bloquearlas y negarse a su

existencia, más aun cuando en muchos casos cuentan con la simpatía de la ciudadanía, sino que incluirlas y reglamentarlas.

En materia de RI, internacionalmente los modelos de negocio todavía no se han desarrollado completamente. Por ejemplo, en Dinamarca, donde se hizo pruebas pilotos de carga controlada de vehículos eléctricos, no existe un modelo de negocios que permita escalar su incorporación.

Otro modelo de negocio tiene relación con las tarifas flexibles que estimulan la disminución del consumo de energía. El paradigma actual señala que a mayor consumo de energía, mayor ingreso para las compañías distribuidoras. Por lo tanto, el nuevo modelo debe romper este círculo.

Sin embargo, no todos los modelos de negocios requieren nueva regulación, sino que evolucionarán al ritmo de la madurez de las RI, como por ejemplo, la oferta de nuevos servicios energéticos asociados a tecnologías avanzadas de información. Aquí predominarán las compañías de distribución más innovadoras.

#### **8.2.8. Medidores inteligentes**

Como se señaló, Estados Unidos identificó a las RI como un elemento clave para su desarrollo económico y energético, y la Unión Europea considera que la instalación de medidores inteligentes es esencial para el éxito de las RI. Es por ello que, para los casos en que el análisis de costo beneficio sea positivo, fijó como meta de implementación un 80%.

En Chile, a fines de 2015 Chilectra inició la introducción progresiva del sistema de medición inteligente en la comuna de La Florida, esperando cambiar los primeros 50 mil medidores durante el año 2016. Sin embargo esta cifra es muy baja si se compara, por ejemplo, con los 65 millones de unidades instaladas al

2015 en Estados Unidos, que representan una cobertura de más del 30% de clientes de electricidad en todo el país.

Se debe aprender de las lecciones de los países que ya tienen recorrido avanzado. En Estados Unidos, específicamente en “The Pacific Northwest Smart Grid Demonstration Project”, la instalación de RI no fue fácil ya que algunas compañías distribuidoras reportaron que la capacidad de comunicación de algunos equipos no era interoperable debido a la incompatibilidad de versiones. Por lo tanto, para evitar que en Chile pase lo mismo, las compañías distribuidoras, en conjunto con la SEC, o en asociación con empresas de tecnología o universidades, deberían plantearse como desafío estudiar estos antecedentes, para que las inversiones futuras en RI sean productivas rápidamente y no vayan quedando botadas por falta de compatibilidad. Al mismo tiempo, es recomendable que se hagan pruebas para reducir el costo de la integración de los equipos de RI.

#### **8.2.9. Incentivos a la gestión de la demanda**

Los clientes deben contar con opciones que les permitan participar activamente en el sistema energético. Deben ser incentivados a mejorar sus patrones de consumo, distribuyendo su demanda más equitativamente en todo el día. Para esto se requieren nuevas opciones tarifarias, para efectivamente disminuir su “cuenta de la luz” y reducir los costos de la red. [67]

#### **8.2.10. Compartir resultados**

En Estados Unidos los resultados de las experiencias en RI se comparten ampliamente, a través de los informes de los programas de apoyo (SGIG y SGDP). Se emiten reportes de beneficios y métricas, reportes de

comportamiento de los consumidores, informes de desempeño tecnológico, informes de resultados, mejores prácticas y lecciones aprendidas de los proyectos, muchos de los cuales se convierten en casos de estudio. También el Ministerio de Energía (DOE) emite reportes al Congreso. Los mecanismos de comunicación de esta información radican principalmente en el DOE, a través de su página institucional [www.smartgrid.gov](http://www.smartgrid.gov), pero también los proyectos tienen sus propias páginas donde publican sus resultados.

En Chile, el Ministerio de Energía debería tomar un rol activo en la generación de un mecanismo de difusión de los avances nacionales e internacionales en RI, que sirva de base a las empresas locales. Debería levantar y sistematizar información de interés. Mientras exista más y mejor información, mejores serán los resultados de la implementación de RI a nivel nacional.

### **8.3. Oportunidades para Chile**

#### **8.3.1. Proyecto de Ley: Nuevos Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica y nuevo Coordinador Independiente**

El 7 de agosto de 2015, ingresó a su primer trámite constitucional en la Cámara de Diputados el proyecto de ley que establece un nuevo sistema de transmisión eléctrica y crea un organismo coordinador independiente del sistema eléctrico nacional. En mayo de 2016, se encuentra en su segundo trámite constitucional en el Senado.

El primero de estos dos ejes, permite que el sistema de transmisión se adelante a los nuevos desafíos energéticos del país, en vez de lo que sucede actualmente en que se desarrolla por detrás de la generación, por lo tanto, la transmisión ha estado frecuentemente llegando tarde y ocasionando cuellos de botella al abastecimiento. Esto se sustentará en una planificación estratégica de largo plazo, con análisis y promoción de nuevas tecnologías, tanto a nivel de

oferta como de demanda. Es así que, el mensaje presidencial con que se inicia el proyecto de ley “incorpora un nuevo proceso quinquenal de planificación energética de largo plazo, a cargo del Ministerio de Energía, para un horizonte de 30 años. Dicho proceso debe entregar los lineamientos generales relacionados con escenarios de desarrollo del consumo y de la oferta de energía eléctrica que el país podría enfrentar en el futuro. Para tal efecto, se incorpora una prospectiva respecto de las tecnologías de generación disponibles, su evolución y desarrollo; así como eventuales nuevas alternativas tecnológicas para el debido abastecimiento de la demanda. Por otro lado, también debiera entregar lineamientos sobre el comportamiento del consumo, incluyendo políticas de eficiencia energética, promoción de nuevas tecnologías, generación distribuida, nuevos tipos y formas de consumos, redes inteligentes, entre otros”. [68]

Llama la atención que esta última parte del texto no sea una indicación taxativa, sino que potencial, ya que se usa la palabra “debiera”, vale decir, no obliga sino que sólo da la posibilidad al Ministerio de Energía de entregar lineamientos sobre el comportamiento del consumo considerando la promoción de nuevas tecnologías, entre ellas las RI.

El articulado del proyecto es menos específico que lo indicado en el mensaje presidencial, ya que no menciona las RI. Sólo detalla que los escenarios de proyección de oferta y demanda eléctrica deben identificar aspectos de la generación distribuida.

El Capítulo II del proyecto de ley regula la Planificación Energética y la Transmisión, y particularmente en su Artículo 83° señala “**Planificación Energética**. Cada cinco años, el Ministerio de Energía deberá desarrollar un proceso de planificación energética de largo plazo, para los distintos escenarios energéticos de expansión de la generación y del consumo, en un horizonte de al menos treinta años.

El proceso de planificación energética deberá incluir escenarios de proyección de oferta y demanda energética y en particular eléctrica, junto con la identificación de polos de desarrollo de generación y de consumo, generación distribuida, intercambios internacionales de energía, [políticas medio ambientales que tengan incidencia,] entre otros, elaborando sus posibles escenarios de desarrollo. Anualmente, el Ministerio podrá actualizar la proyección de la demanda, los escenarios macroeconómicos, y los demás antecedentes considerados en los escenarios definidos en el decreto a que hace referencia el artículo 86.

Por razones fundadas el Ministerio de Energía podrá desarrollar el proceso de planificación energética antes del vencimiento del plazo señalado en el inciso primero.

El reglamento establecerá el procedimiento y las demás materias necesarias para la implementación eficaz del presente artículo.”

En el inciso segundo, entre corchetes, se intercaló una de las 1.259 indicaciones realizadas por el Senado a fines de abril. De todas esas indicaciones, ninguna de ellas menciona las RI.

Una vez aprobada y publicada esta ley, el Gobierno tiene un plazo de 120 días para dictar los reglamentos necesarios para materializar su ejecución.

Para que la ley se haga cargo de lo señalado en el mensaje presidencial que dio inicio a su tramitación en el Congreso, existe aún la oportunidad de que el Reglamento especifique cómo se incluirá en la planificación energética de largo plazo la “promoción de nuevas tecnologías, generación distribuida, nuevos tipos y formas de consumos, redes inteligentes, entre otros”, subsanando lo que partió como una buena intención, pero que no se ha plasmado aún en la normativa.

### 8.3.2. Proyecto de Ley de Eficiencia Energética

Como se indicó anteriormente, uno de los objetivos de las RI, a través del uso de tecnologías de información digital y controles automatizados, es potenciar la eficiencia del sistema eléctrico, tanto a nivel de la red como a nivel de los consumos finales.

El Proyecto de ley de Eficiencia Energética que está impulsando el Ministerio de Energía y que contó con el apoyo de la Universidad de Chile, incluirá a lo menos tres componentes: (a) Eficiencia Energética en la Industria y Minería; (b) Eficiencia Energética para hogares, pequeñas industrias y comercios; (c) Eficiencia Energética en el sector público. [3]

Particularmente el proyecto de ley de eficiencia energética, que se espera sea enviado al Congreso el segundo semestre de este año, en el punto relacionado con el consumo domiciliario y pequeñas industrias y comercios, busca “desacoplar los ingresos de las empresas de distribución de sus ventas de electricidad, y que éstas implementen programas de Eficiencia Energética en sus clientes”.

Para lograr el desacople se han estudiado algunas propuestas como el *decoupling*, basado en un ingreso autorizado, y el LRAM (Lost Revenue Adjustment Mechanism), basado en la compensación de pérdidas de ventas. El *decoupling* o mecanismo de desacople es el mejor evaluado. [69]

El modelo de desacople fue implementado con éxito en California, Estados Unidos, desde el año 2007. Los ingresos de las compañías distribuidoras no son afectados por los menores consumos que generan los programas de eficiencia, ya que ellas tienen garantizado un ingreso fijo que les permite rentabilizar su inversión. Para lograr mejoras de eficiencia y maximizar sus ingresos, las empresas distribuidoras tienen que conseguir metas de ahorros, y

dependiendo del nivel del logro alcanzado, pueden conservar parte de los mismos. Y en caso contrario, si no logran alcanzar el nivel mínimo de cumplimiento, deben pagar multas en función de la energía no ahorrada.

California tiene un consumo de energía per cápita 42% inferior al promedio de Estados Unidos, por varias razones, pero una de ellas es el resultado de los programas de eficiencia energética. [70]

La metodología de tarificación del modelo de desacople requiere, en primer lugar, determinar los ingresos esperados de las compañías distribuidoras. A este valor se le denomina “ingreso autorizado”. Luego, se fijan los precios esperados con base en las ventas esperadas de energía. Los ingresos corresponderán a la multiplicación de los precios esperados por el consumo real de cada cliente. Por lo tanto, al final de cada periodo, que puede ser anual, se deben reconciliar los ingresos totales de cada compañía distribuidora, ajustando positiva o negativamente los precios esperados del periodo siguiente. Los mecanismos de ajuste del ingreso esperado corresponden a factores no relacionados con la venta de energía, como por ejemplo, inflación, cantidad de clientes, productividad. Así, las empresas distribuidoras son indiferentes a los niveles de venta de energía.

Este desacople implica un gran desafío, ya que requerirá cambios tarifarios, ajustes al modelo de negocios y una fuerte campaña de medidas de eficiencia energética. Todo esto es una gran oportunidad para la masificación de las RI. Si se logra poner los incentivos correctos para hacer partícipe a las compañías distribuidoras en el desafío de la eficiencia energética, habrá una gran oportunidad para que los consumidores obtengan beneficios económicos importantes, no sólo marginales, a través de programas de eficiencia energética atractivos, que premien los cambios en los patrones de consumo mediante la gestión de la demanda. En el costo plazo, el beneficio económico o ahorro de costos para el cliente no viene dado por una menor tarifa de distribución, no es

lo que busca este mecanismo, sino que por un menor consumo. Sólo en el largo plazo podría haber menores tarifas de potencia, por postergación o menor inversión en generación.

Chile espera disminuir 20% el consumo proyectado de energía al año 2025 mediante iniciativas de eficiencia. Desacoplar los ingresos de las compañías distribuidoras por medio de la ley de eficiencia energética que se encuentra en elaboración es una gran oportunidad, si es que no una condición necesaria, para alcanzar dicha meta. [3]

### **8.3.3. Política de Ciencia, Tecnología e Innovación en Energía**

El Gobierno de Chile, en su Política Energética de Largo Plazo, estableció como desafío definir una Política de Ciencia, Tecnología e Innovación en Energía (lineamiento número 18), partiendo inmediatamente este año 2016 con la coordinación.

Por otra parte, el Gobierno también asumió el compromiso de crear un Ministerio de Ciencia y Tecnología, para lo cual se espera que a más tardar en agosto de este año se envíe al Congreso el proyecto de ley correspondiente. [71]

Estos 2 elementos, una política con metas claras y una estructura con recursos asociados, son una oportunidad que se debe aprovechar para impulsar con fuerza los desafíos en materia de RI, partiendo por la definición de la “visión país”.

En el marco de la Consulta Pública de la Política Energética, llevado a cabo por el Ministerio de Energía el año 2015, el autor de la presente tesina comentó que sería bueno incluir como metas adicionales: “(1) Ser líder mundial en generación eléctrica mareomotriz. El Estado, en asociación público-privada,

internacional, debe impulsar, favorecer o liderar el desarrollo del conocimiento y tecnologías que permitan alcanzar esta meta. (2) Propiciar el desarrollo tecnológico que permita eliminar las barreras para la creación de ciudades inteligentes, dando un impulso adicional a un sector económico nacional que puede ser soporte del desarrollo futuro: tecnologías de comunicación”. La respuesta fue la siguiente: “Algunos de los temas que indicas, como la energía de los mares y ciudades inteligentes, no han sido considerados en detalle en la Política Energética, pero será evaluada a partir del desarrollo de una Política de Ciencia, Tecnología e Innovación en Energía, tal como se indica en la Sección "Competitividad del Sector Energético", y en el plan de acción del lineamiento estratégico 18, presentado en el Anexo 1 de la Política Energética.” [72]

#### **8.3.4. Chilectra – camino recorrido**

Como se vio, Chile ya tiene camino avanzado a través del plan piloto de redes inteligentes de Chilectra, y específicamente su proyecto Smartcity Santiago, que se inserta en la realidad tecnológica, social, económica y regulatoria nacional.

Al finalizar su proyecto, Chilectra estará en posición de elaborar una evaluación de todos los aspectos positivos y negativos de su implementación. Es probable que mucha de esa información sea confidencial y estratégica para el desarrollo de la compañía, pero al igual como lo hacen las regiones que se analizaron en el capítulo de las “Experiencias Prácticas Internacionales”, las lecciones aprendidas deberían ser compartidas con el resto de la sociedad, para que se siga construyendo el país sobre lo existente, repitiendo las cosas buenas y corrigiendo los errores.

## 9. CONCLUSIONES

Las RI tienen el potencial de generar múltiples beneficios a la economía de un país, favoreciendo a todos, trabajadores, consumidores, empresas y medioambiente. Los principales beneficios de las RI son:

- Disminuir la demanda de punta, aplanando la curva de carga, lo que a su vez permite postergar inversiones en nuevas centrales;
- Disminuir las pérdidas de electricidad ya que la incorporación de la generación distribuida acerca la generación al consumidor final y disminuye la congestión de las redes;
- Aumentar la seguridad, con un sistema con mayor capacidad de auto-diagnóstico y auto-recuperación que aumenta la vida útil de la infraestructura eléctrica;
- Evitar robos de energía mediante la incorporación de medidores inteligentes;
- Hacer más eficiente la transmisión, con sistemas de protección especial;
- Automatizar la medición del consumo para mejorar los procesos operativos de las compañías distribuidoras;
- Favorecer la generación distribuida, que permiten ahorrar consumo de la red e incluso inyectar energía al sistema;
- Desarrollar casas inteligentes mediante el uso de la domótica, que permite a los clientes un consumo más eficiente y mayor confort;
- Compensar el envejecimiento de la infraestructura de la red convencional, con menores costos de inversión;

- Beneficiar a las empresas distribuidoras y a los clientes, con la entrega de un mejor servicio;
- Favorecer la incorporación masiva de energías renovables no convencionales, micro-redes y vehículos eléctricos;
- Disminuir las emisiones;
- Disminuir los costos y
- Desarrollar la industria de las tecnologías de la información y las comunicaciones.

Los beneficios que se logren dependerán de los objetivos estratégicos que cada país se dé para impulsar las RI, en el marco de su propia visión de futuro.

A nivel internacional, el siglo XXI ha impulsado fuertemente el desarrollo de las RI. Muchos países están haciendo inversiones públicas y privadas para comprobar, documentar y potenciar sus beneficios.

En términos económicos, los beneficios de las RI completamente desplegadas se estiman en 0,7% del PIB. El cálculo de este porcentaje coincide para las estimaciones realizadas en Estados Unidos y en España.

No obstante todas las bondades mencionadas, aún se deben superar las barreras que están demorando su masificación.

- En materia regulatoria, la principal barrera es la incertidumbre normativa.
- En materia tecnológica, incluso en los países más avanzados existe un diagnóstico de necesidad de mayor investigación y desarrollo.
- También hay barreras de estandarización, que implican enfrentar un proceso difícil de normalización de protocolos de comunicación e interfaces, para que las soluciones de diversos fabricantes se puedan

integrar de forma óptima. Se demostró que aún queda trabajo por hacer en materia de estándares de interoperabilidad, por incompatibilidad de las versiones de los equipos que se han instalado.

- Otra barrera muy importante que dificulta la masificación de las RI es la falta de recuperación oportuna y los altos costos de inversión.
- También existen barreras de mercado, donde destaca la incertidumbre y la falta de información adecuada acerca de los beneficios de las RI, además de un modelo de negocio con señales de precios que incentiven la gestión de la demanda.
- Finalmente, la falta de apoyo en países menos desarrollados, como Chile, retrasan la incorporación de RI.

El análisis de las experiencias prácticas internacionales arrojó una serie de lecciones aprendidas, que deben ser consideradas en Chile para el desarrollo de las RI:

- Es recomendable que las compañías distribuidoras de electricidad desarrollen planes pilotos, ya que éstos entregan información valiosa que orientan de mejor manera las inversiones en RI.
- Para el éxito de las inversiones, se recomienda que las empresas planifiquen adecuadamente los requisitos funcionales y arquitectónicos.
- Un cronograma realista hace más eficiente la ejecución de los proyectos.
- Se recomienda que la infraestructura de comunicaciones sea tan robusta como la infraestructura de suministro eléctrico.
- Para mejorar el retorno de la inversión, el sistema de monitoreo de la red debe desplegarse selectivamente en zonas de baja confiabilidad o donde

la resolución de los problemas consume mucho tiempo, como por ejemplo en instalaciones rurales o subterráneas.

- Los equipos y software asociados a la DA, que reconfiguran automáticamente la red y que aíslan los efectos de las interrupciones, también deberían instalarse en forma selectiva, ya que sus beneficios económicos en algunos casos no fueron tan evidentes, aunque sí mejoraron la confiabilidad.
- Los medidores inteligentes presentaron muchos beneficios, pero en algunos casos el periodo de recuperación de su costo fue extremadamente largo. Es por este motivo que la Unión Europea requiere que sus Estados miembros aseguren la implementación, condicionada a un análisis positivo de costo-beneficio.
- Se demostró que la tecnología de información avanzada predice con precisión el recurso eólico.
- Se demostró que los sistemas de almacenamiento de energía mediante baterías mejoran la confiabilidad de la red y permiten generar ingresos adicionales mediante servicios de regulación.
- Proyectos con sistemas de baterías plomo-ácido están siendo actualizados por baterías litio-ion.
- Se recomienda examinar a fondo las capacidades técnicas y fortaleza de los proveedores de equipos.
- Se requiere mayores avances en las tecnologías de la información para que predigan de mejor manera, y con más días de anticipación, la oferta y demanda de energía.

- Se deben moderar las expectativas de los clientes, prometiendo beneficios realistas, que no frustren o generen valoraciones negativas en caso de atrasos o desviaciones (caso Boulder).
- El sentido del logro es esencial para fortalecer la actitud de los consumidores hacia el uso racional de la energía. Se demostró que la entrega de mejor información a los usuarios sobre su consumo incrementó la conciencia energética.
- Se recomienda que la entrega de tecnología inteligente sea acompañada de capacitación a los usuarios para mantener los cambios positivos en los patrones de consumo.

Por otra parte, las claves para el desarrollo de las RI no son sólo fondos para inversión, como en Estados Unidos y Europa, muy importantes por cierto, sino que también una planificación de largo plazo, con metas y evaluaciones. La información que se levanta en los proyectos es sistematizada, evaluada y compartida con el resto de la sociedad mediante elaboración de casos y de lecciones aprendidas. En el desarrollo de las RI están trabajando reguladores, generadores, proveedores, legisladores, instituciones de investigación, universidades y otras partes interesadas. Inclusive, el Departamento de Energía de Estados Unidos debe reportar al Congreso Nacional, cada dos años, el estado de las implementaciones de las RI en todo el país y de los obstáculos regulatorios o gubernamentales para su despliegue continuo.

En Chile estamos lejos de eso. El primer paso que se debe dar es alinear la visión de futuro respecto a RI. Lo óptimo sería que el país defina participativamente el modelo de redes eléctricas inteligentes que quiere construir y elabore una estrategia de desarrollo apropiada de mediano y largo plazo, con definición de etapas, alcance, plazos, recursos y metas. El rol coordinador del Estado aquí es relevante. A continuación, y de manera

complementaria, al igual que en los países desarrollados, se deben crear programas de apoyo a la inversión en RI, tanto para investigación y desarrollo, como para planes pilotos de demostración y capacitación. Y se deben compartir los resultados o lecciones aprendidas mediante diversos mecanismos de difusión.

Otro desafío para Chile es el fomento de los proyectos de generación distribuida, aprovechando las ventajas comparativas en materia de fuentes de energía renovables no convencionales. La normativa actual no está dando los resultados esperados, ya que es poco atractiva para incentivar este tipo de generación.

Las RI representan un camino complementario a la construcción de megacentrales y torres de transmisión, que muchas veces enfrentan oposición ciudadana. Para impulsarlas, Chile debe crear un marco regulatorio que propicie modelos de negocios que incentiven a los clientes a mejorar sus patrones de consumo. Nuevas tecnologías, mejor información a través de medidores inteligentes, capacitación y tarifas flexibles han permitido que los clientes de otras latitudes hayan llegado a tener una participación activa en la optimización del consumo eléctrico, con ahorros de consumo de energía de 5% y ahorros de costo de 20%.

En cuanto a las oportunidades que tiene el país para enfrentar los desafíos señalados, se pueden mencionar al menos cuatro.

- En primer lugar está el Proyecto de Ley que establece nuevos sistemas de transmisión de energía eléctrica y crea un nuevo ente coordinador. Este proyecto permite que el sistema de transmisión se adelante a los nuevos desafíos energéticos del país mediante un proceso de planificación estratégica, con análisis y promoción de nuevas tecnologías, tanto a nivel de oferta como de demanda. El mensaje

presidencial con que se inició el proyecto señala que dicho proceso debe entregar lineamientos sobre el comportamiento del consumo, incluyendo la promoción de las redes inteligentes. Sin embargo el articulado del proyecto es menos específico que lo indicado en el mensaje presidencial, ya que no menciona expresamente a las RI. El Capítulo II del proyecto de ley regula la Planificación Energética y la Transmisión, y particularmente en su Artículo 83° señala que en la planificación energética, que se desarrollará cada cinco años, se deberá incluir escenarios de proyección de oferta y demanda energética, junto con la identificación de generación distribuida, entre otros. No menciona RI. Dado que, una vez aprobada y publicada la ley, el Gobierno tiene un plazo de 120 días para dictar los reglamentos necesarios para materializar su ejecución, aún existe la oportunidad de que ahí se especifique la manera en que se promocionarán las nuevas tecnologías, particularmente las redes inteligentes, subsanando lo que partió como una buena intención, pero que no se ha plasmado aún en la normativa.

- Otra oportunidad que tiene el país también es de tipo normativa. Se trata del Proyecto de Ley de Eficiencia Energética, que se espera sea enviado al Congreso el segundo semestre de este año. Uno de sus objetivos será desacoplar los ingresos de las empresas de distribución de sus ventas de electricidad, y fomentar que implementen programas de eficiencia energética en sus clientes. Este desacople implica un gran desafío, ya que requerirá cambios tarifarios, ajustes al modelo de negocios y una fuerte campaña de medidas de eficiencia energética. Todo esto es una gran oportunidad para la masificación de las RI. La meta nacional es disminuir 20% el consumo proyectado de energía al año 2025 mediante iniciativas de eficiencia.

- Una tercera oportunidad es la “Política de Ciencia, Tecnología e Innovación en Energía” que el Gobierno se planteó como desafío desarrollar a partir de este año 2016. En el marco de la Consulta Pública de la Política Energética, llevado a cabo por el Ministerio de Energía el año 2015, el autor de la presente tesina comentó que sería bueno incluir como metas adicionales: “(1) Ser líder mundial en generación eléctrica mareomotriz. El Estado, en asociación público-privada, internacional, debe impulsar, favorecer o liderar el desarrollo del conocimiento y tecnologías que permitan alcanzar esta meta. (2) Propiciar el desarrollo tecnológico que permita eliminar las barreras para la creación de ciudades inteligentes, dando un impulso adicional a un sector económico nacional que puede ser soporte del desarrollo futuro: tecnologías de comunicación”. La respuesta fue la siguiente: “Algunos de los temas que indicas, como la energía de los mares y ciudades inteligentes, no han sido considerados en detalle en la Política Energética, pero será evaluada a partir del desarrollo de una Política de Ciencia, Tecnología e Innovación en Energía, tal como se indica en la Sección "Competitividad del Sector Energético", y en el plan de acción del lineamiento estratégico 18, presentado en el Anexo 1 de la Política Energética.”
- Finalmente, al igual que en los países desarrollados, donde se difunden las lecciones aprendidas para que las empresas vayan construyendo sobre avances que otros ya han alcanzado, Chile debe generar un mecanismo transferencia de conocimientos, que permita repetir las cosas buenas y corregir los errores.

## 10. REFERENCIAS

- [1] Agencia Internacional de Energía, «World Energy Outlook 2015,» 2015. [En línea]. Available: <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/world-energy-outlook-2015---executive-summary---spanish-version.html>>. [Último acceso: 8 Abril 2016].
- [2] Comisión Electrotécnica Internacional, «Electrificación inteligente: la clave para la eficiencia energética,» Septiembre 2010. [En línea]. Available: <[http://www.iec.ch/smartenergy/pdf/summary\\_spanish.pdf](http://www.iec.ch/smartenergy/pdf/summary_spanish.pdf)>. [Último acceso: 29 Febrero 2016].
- [3] Ministerio de Energía de Chile, «Agenda de Energía,» Mayo 2014. [En línea]. Available: <[http://www.cumplimiento.gob.cl/wp-content/uploads/2014/03/AgendaEnergiaMAYO2014\\_FINAL.pdf](http://www.cumplimiento.gob.cl/wp-content/uploads/2014/03/AgendaEnergiaMAYO2014_FINAL.pdf)>. [Último acceso: Marzo 2016].
- [4] Comisión Europea, [En línea]. Available: <[http://ec.europa.eu/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/index_en.htm)>. [Último acceso: 15 Marzo 2016].
- [5] Departamento de Energía (DOE) de Estados Unidos, «What is the Smart Grid?,» Oficina de Suministro de Electricidad y Confiabilidad Energética, [En línea]. Available: <[https://www.smartgrid.gov/the\\_smart\\_grid/smart\\_grid.html](https://www.smartgrid.gov/the_smart_grid/smart_grid.html)>. [Último acceso: 15 Marzo 2016].
- [6] Agencia Internacional de Energía (AIE), [En línea]. Available: <<http://www.iea.org/topics/electricity/subtopics/smartgrids/>>. [Último acceso: 15 Marzo 2016].

- [7] Departamento de Energía de Estados Unidos, «Reporte al Congreso del Sistema de Redes Inteligentes 2009,» Julio 2009. [En línea]. Available: <<http://energy.gov/sites/prod/files/2009%20Smart%20Grid%20System%20Report.pdf>>. [Último acceso: 22 Marzo 2016].
- [8] Comité Consultivo de Electricidad, DOE, Estados Unidos, «Recomendaciones sobre necesidades de apoyo para Investigación y Desarrollo en RI,» 27 Marzo 2015. [En línea]. Available: <<http://energy.gov/sites/prod/files/2015/04/f21/EAC%20Recommendations%20on%20Smart%20Grid%20Research%20and%20Development%20Needs.pdf>>. [Último acceso: 26 Marzo 2016].
- [9] Departamento de Energía (DOE) de Estados Unidos, «Energía Distribuida,» Oficina de Suministro de Electricidad y Confiabilidad Energética, [En línea]. Available: <<http://energy.gov/oe/technology-development/smart-grid/distributed-energy>>. [Último acceso: 23 Marzo 2016].
- [10] FERC, «Reports on Demand Response & Advanced Metering,» [En línea]. Available: <<http://www.ferc.gov/industries/electric/indus-act/demand-response/dem-res-adv-metering.asp>>. [Último acceso: 23 Marzo 2016].
- [11] Departamento de Energía (DOE) de Estados Unidos, «Respuesta de la demanda,» Oficina de Suministro de Electricidad y Confiabilidad Energética, [En línea]. Available: <<http://energy.gov/oe/technology-development/smart-grid/demand-response>>. [Último acceso: 23 Marzo 2016].
- [12] Comisión Nacional de Energía, «REVISIÓN DE MECANISMOS DE TARIFICACIÓN DE IMPLEMENTACIONES DE SMARTGRID,» Diciembre 2012. [En línea]. Available: <<http://energiaabierta.cne.cl/consultor/synex-ingenieros-consultores-ltda/>>. [Último acceso: 19 Marzo 2016].

- [13] Departamento de Energía de Estados Unidos, «Reporte al Congreso del Sistema de Redes Inteligentes 2010,» Febrero 2012. [En línea]. Available: <<http://energy.gov/sites/prod/files/2010%20Smart%20Grid%20System%20Report.pdf>>. [Último acceso: 20 Marzo 2016].
- [14] Comisión Europea, «Definición, servicios esperados, funcionalidades y beneficios de las Redes Inteligentes,» 12 Abril 2011. [En línea]. Available: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011SC0463&from=EN>>. [Último acceso: 22 Marzo 2016].
- [15] Departamento de Energía (DOE) de Estados Unidos, «Smart Grid,» Oficina de Suministro de Electricidad y Confiabilidad Energética, [En línea]. Available: <<http://energy.gov/oe/services/technology-development/smart-grid>>. [Último acceso: 22 Marzo 2016].
- [16] Fundación Telefónica, «Smart Energy.TIC y energía: un futuro eficiente,» 16 Septiembre 2013. [En línea]. Available: <[http://www.fundaciontelefonica.com/artes\\_cultura/publicaciones-listado/pagina-item-publicaciones/itempubli/232/](http://www.fundaciontelefonica.com/artes_cultura/publicaciones-listado/pagina-item-publicaciones/itempubli/232/)>. [Último acceso: 15 Marzo 2016].
- [17] ABC Tecnología, ««Smart Home»: frenos y avances de una sociedad hiperconectada,» 14 Enero 2015. [En línea]. Available: <<http://www.abc.es/tecnologia/informatica-software/20150114/abci-smart-home-retos-problemas-sociedad-conectada-201501141720.html>>. [Último acceso: 17 Marzo 2016].
- [18] Ernst & Young, «Smart Grid: a race worth winning?,» Abril 2012. [En línea]. Available: <[http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/Smart-Grid-A-race-worth-winning/\\$FILE/EY-Smart-Grid-a-race-worth-winning.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/Smart-Grid-A-race-worth-winning/$FILE/EY-Smart-Grid-a-race-worth-winning.pdf)>. [Último

acceso: 17 Marzo 2016].

- [19] R. Caballero, «Oportunidades y desafíos en la presente década - Redes Inteligentes en Chilectra,» 9 Noviembre 2011. [En línea]. Available: <[http://www.cigre.cl/bienal\\_9\\_10\\_nov\\_11/presentaciones/9\\_nov/Chilectra%20Cigre%20RCaballero.pdf](http://www.cigre.cl/bienal_9_10_nov_11/presentaciones/9_nov/Chilectra%20Cigre%20RCaballero.pdf)>. [Último acceso: 17 Marzo 2016].
- [20] FRAUNHOFER CHILE RESEARCH, «INVESTIGACIÓN, DESARROLLO Y APLICACIÓN DE REDES INTELIGENTES DE ENERGÍA (SMART GRID): PROYECTO SMARTCITY SANTIAGO,» Enero 2014. [En línea]. Available: <<http://smart-building.cl/wp-content/uploads/2015/08/version-final-informe-avance-chilectra-30.1.13-V-Final.pdf>>. [Último acceso: 19 Marzo 2017].
- [21] Banco Interamericano de Desarrollo (BID), «Las redes inteligentes de energía y su implementación en ciudades sostenibles,» Agosto 2012. [En línea]. Available: <<http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=37228055>>. [Último acceso: 17 Marzo 2016].
- [22] Departamento de Energía de Estados Unidos, «Reporte al Congreso del Sistema de Redes Inteligentes 2014,» Agosto 2014. [En línea]. Available: <<http://energy.gov/sites/prod/files/2014/08/f18/SmartGrid-SystemReport2014.pdf>>. [Último acceso: 21 Marzo 2016].
- [23] Á. González, «Gestión de la Energía en una Red Inteligente,» Febrero 2012. [En línea]. Available: <<http://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/14698>>. [Último acceso: 17 Marzo 2016].
- [24] Comisión Reguladora de Energía, de México, «Marco Regulatorio de la Red Eléctrica Inteligente (REI) en México,» ESTA International, LLC, Septiembre 2014. [En línea]. Available: <<http://www.cre.gob.mx/documento/3978.pdf>>. [Último acceso: 19 Marzo 2016].

- [25] EDSO for Smart Grids, «Response to the European Commission’s public consultation on a new energy market design,» Octubre 2015. [En línea]. Available: <[http://www.edsoforsmartgrids.eu/wp-content/uploads/151005\\_EDSO-response-to-market-design-public-consultation\\_final.pdf](http://www.edsoforsmartgrids.eu/wp-content/uploads/151005_EDSO-response-to-market-design-public-consultation_final.pdf)>. [Último acceso: 23 Marzo 2016].
- [26] United Explanations, «¿Por qué no ha tenido (aún) lugar la revolución del coche eléctrico?,» 29 Mayo 2015. [En línea]. Available: <<http://www.unitedexplanations.org/2015/05/29/por-que-no-ha-tenido-lugar-la-esperada-revolucion-coche-electrico/#>>. [Último acceso: 21 Marzo 2016].
- [27] Parlamento y Consejo Europeo, «DIRECTIVE 2014/94/EU,» 22 Octubre 2014. [En línea]. Available: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32014L0094>>. [Último acceso: 21 Marzo 2016].
- [28] Comisión Europea, «Developing clean fuels and vehicles in Europe,» 23 Noviembre 2015. [En línea]. Available: <<http://congresovehiculoelectrico.com/wp-content/uploads/2015/11/11-30-D-Coucharriere-Madrid-III-Congreso-Europeo-del-EV-D.Coucharrière.pdf>>. [Último acceso: 16 Marzo 2016].
- [29] Comisión Europea, «Fondos Estructurales y de Inversión Europeos,» [En línea]. Available: <[http://ec.europa.eu/contracts\\_grants/funds\\_es.htm](http://ec.europa.eu/contracts_grants/funds_es.htm)>. [Último acceso: 21 Marzo 2016].
- [30] Centro Común de Investigación de la Comisión Europea, «Smart Grid Projects Outlook 2014,» 2014. [En línea]. Available: <[http://ses.jrc.ec.europa.eu/sites/ses.jrc.ec.europa.eu/files/u24/2014/report/ld-na-26609-en-n\\_smart\\_grid\\_projects\\_outlook\\_2014\\_-\\_online.pdf](http://ses.jrc.ec.europa.eu/sites/ses.jrc.ec.europa.eu/files/u24/2014/report/ld-na-26609-en-n_smart_grid_projects_outlook_2014_-_online.pdf)>. [Último acceso: 22 Abril 2016].

- [31] Lyse, «Arrowhead,» [En línea]. Available: <<http://demolyse.no/en/projects/arrowhead-en>>. [Último acceso: 29 Abril 2016].
- [32] Finesce Project, «Consolidated Innovation and Business Report,» 16 Septiembre 2015. [En línea]. Available: <[http://finesce.eu/global/images/cms/Results/FINESCE\\_deliverable\\_D7%2010\\_innovation\\_business\\_consolidated\\_final.pdf](http://finesce.eu/global/images/cms/Results/FINESCE_deliverable_D7%2010_innovation_business_consolidated_final.pdf)>. [Último acceso: 29 Abril 2016].
- [33] Finesce, «Consolidated Trial Results,» 16 Septiembre 2015. [En línea]. Available: <[http://finesce.eu/global/images/cms/Results/FINESCE\\_deliverable\\_%20D7.8\\_consolidated\\_trial%20results\\_final.pdf](http://finesce.eu/global/images/cms/Results/FINESCE_deliverable_%20D7.8_consolidated_trial%20results_final.pdf)>. [Último acceso: 23 Abril 2016].
- [34] Comisión Europea, «80 millones de euros disponibles para las PYME de Europa,» 17 Septiembre 2014. [En línea]. Available: <[http://ec.europa.eu/spain/pdf/ip170914\(3\).pdf](http://ec.europa.eu/spain/pdf/ip170914(3).pdf)>. [Último acceso: 23 Abril 2016].
- [35] GARPUR Project, «Presentations,» 25 Marzo 2014. [En línea]. Available: <<http://www.garpur-project.eu/publications>>. [Último acceso: 29 Abril 2016].
- [36] Departamento de Energía (DOE) de Estados Unidos, «A Glimpse of the Future Grid through Recovery Act Funding,» Octubre 2015. [En línea]. Available: <[http://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/10/f27/OE%20ARRA%20Grid%20Modernization%20Highlights%20october2015\\_0.pdf](http://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/10/f27/OE%20ARRA%20Grid%20Modernization%20Highlights%20october2015_0.pdf)>. [Último acceso: 24 Abril 2016].
- [37] Mckinsey, «U.S. smart grid value at stake: The \$130 billion question,» 2010.
- [38] Departamento de Energía (DOE) de Estados Unidos, «The American Recovery and Reinvestment Act Smart Grid Highlights,» Octubre 2014. [En línea]. Available: <<http://energy.gov/sites/prod/files/2014/12/f19/SGIG-SGDP-Highlights-October2014.pdf>>. [Último acceso: 24 Abril 2016].

- [39] Departamento de Energía (DOE) de Estados Unidos, «Base de datos de almacenamiento de energía,» [En línea]. Available: <<http://www.energystorageexchange.org/projects/11>>. [Último acceso: 24 Abril 2016].
- [40] Duke Energy, «Energy Storage,» 2015. [En línea]. Available: <[https://www.duke-energy.com/pdfs/DUK\\_Battery-Storage.pdf](https://www.duke-energy.com/pdfs/DUK_Battery-Storage.pdf)>. [Último acceso: 24 Abril 2016].
- [41] Departamento de Energía (DOE) de Estados Unidos, «Technology Performance Report: Duke Energy Notrees Wind Storage Demonstration Project,» Noviembre 2015. [En línea]. Available: <[https://www.smartgrid.gov/files/OE0000195\\_Duke\\_FinalRep\\_2015.pdf](https://www.smartgrid.gov/files/OE0000195_Duke_FinalRep_2015.pdf)>. [Último acceso: 24 Abril 2016].
- [42] Departamento de Energía (DOE) de Estados Unidos, «Base de datos de almacenamiento de energía,» [En línea]. Available: <<http://www.energystorageexchange.org/projects/8>>. [Último acceso: 24 Abril 2016].
- [43] Departamento de Energía (DOE) de Estados Unidos, «Case Study —Florida Power & Light,» Julio 2012. [En línea]. Available: <<https://www.smartgrid.gov/files/FPLcasestudy.pdf>>. [Último acceso: 24 Abril 2016].
- [44] Departamento de Energía (DOE) de Estados Unidos, «Florida Power & Light Company,» Abril 2015. [En línea]. Available: <[https://www.smartgrid.gov/files/Florida-Power-Light-Company-Project-Description\\_0.pdf](https://www.smartgrid.gov/files/Florida-Power-Light-Company-Project-Description_0.pdf)>. [Último acceso: 24 Abril 2016].
- [45] Pacific Northwest Smart Grid, «Technology Performance Report Highlights,» Junio 2015. [En línea]. Available:

- <[http://www.pnwsmartgrid.org/docs/PNW\\_SGDP\\_AnnualReport.pdf](http://www.pnwsmartgrid.org/docs/PNW_SGDP_AnnualReport.pdf)>. [Último acceso: 27 Abril 2016].
- [46] Departamento de Energía (DOE) de Estados Unidos, «Pacific Northwest Smart Grid Demonstration Project Technology Performance Report Volume 1: Technology Performance,» Junio 2015. [En línea]. Available: <[https://www.smartgrid.gov/files/OE0000190\\_Battelle\\_FinalRep\\_2015\\_06.pdf](https://www.smartgrid.gov/files/OE0000190_Battelle_FinalRep_2015_06.pdf)>. [Último acceso: 27 Abril 2016].
- [47] Departamento de Energía (DOE) de Estados Unidos, «Reference Guide for a Transaction-Based Building Controls Framework,» Abril 2014. [En línea]. Available: <[http://energy.gov/sites/prod/files/2014/06/f16/PNNL-23302\\_draft.pdf](http://energy.gov/sites/prod/files/2014/06/f16/PNNL-23302_draft.pdf)>. [Último acceso: 27 Abril 2016].
- [48] Xcel Energy, «Operations and a glance,» 2016. [En línea]. Available: <[https://www.xcelenergy.com/company/about\\_xcel\\_energy/company\\_profile/operations\\_at\\_a\\_glance](https://www.xcelenergy.com/company/about_xcel_energy/company_profile/operations_at_a_glance)>. [Último acceso: 25 Mayo 2016].
- [49] IEEE (Instituto de Energía Eléctrica y Electrónica), «Smart Grids,» 2006-2012. [En línea]. Available: <[https://www.ieee.org/about/technologies/emerging/emerging\\_tech\\_smart\\_grids.pdf](https://www.ieee.org/about/technologies/emerging/emerging_tech_smart_grids.pdf)>. [Último acceso: 25 Mayo 2016].
- [50] Metavu, «SmartGridCity™ Demonstration Project Evaluation Summary,» 21 Octubre 2011. [En línea]. Available: <[http://magrid.raabassociates.org/Articles/SmartGridCity\\_Evaluation\\_Report\\_FINAL\\_121021.pdf](http://magrid.raabassociates.org/Articles/SmartGridCity_Evaluation_Report_FINAL_121021.pdf)>. [Último acceso: 25 Mayo 2016].
- [51] Finance & Commerce, «The lessons of smart grid test in Boulder,» Marisa Helms, 24 Abril 2013. [En línea]. Available: <<http://finance-commerce.com/2013/04/the-lessons-of-smart-grid-test-in-boulder/>>. [Último acceso: 25 Mayo 2016].

- [52] Heinrich Böll Stiftung, «Taking Back the Grid,» Junio 2014. [En línea]. Available: <[https://us.boell.org/sites/default/files/fei\\_rinehart\\_taking\\_back\\_the\\_grid.pdf](https://us.boell.org/sites/default/files/fei_rinehart_taking_back_the_grid.pdf)>. [Último acceso: 25 Mayo 2016].
- [53] P. Weber Cornejo, «Diseño e Implementación de Plataforma Scada para Sistema de Electrificación Sustentable en la localidad de Huatacondo,» Abril 2011. [En línea]. Available: <[http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2011/cf-weber\\_pc/pdfAmont/cf-weber\\_pc.pdf](http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2011/cf-weber_pc/pdfAmont/cf-weber_pc.pdf)>. [Último acceso: 16 Abril 2016].
- [54] Universidad de Chile, «Proyecto de generación eléctrica ESUSCON de la FCFM en Huatacondo (Tarapacá),» 12 Abril 2013. [En línea]. Available: <<http://ingenieria.uchile.cl/videos/89707/proyecto-de-generacion-electrica-de-la-fcfm-en-huatacondo>>. [Último acceso: 16 Abril 2016].
- [55] Universidad de Chile, «Centro de Energía,» [En línea]. Available: <[http://www.centroenergia.cl/ce-fcfm/?page\\_id=1004](http://www.centroenergia.cl/ce-fcfm/?page_id=1004)>. [Último acceso: 16 Abril 2016].
- [56] Chilectra, «Memoria Anual 2012,» [En línea]. Available: <<http://www.svs.cl/institucional/mercados/entidad.php?mercado=V&rut=96800570&grupo=&tipoentidad=RVEMI&row=AABbBQABwAAAA5MAAe&vig=VI&control=svs&pestanía=32>>. [Último acceso: 17 Abril 2016].
- [57] Rafael Caballero Garzón, Jefe Area Regulación Regional y Eficiencia Energética de Chilectra, «Plan de Redes Inteligentes de Chilectra,» 19 al 21 Octubre 2009. [En línea]. Available: <<http://docplayer.es/10557931-Plan-de-redes-inteligentes-de-chilectra.html>>. [Último acceso: 16 Abril 2016].
- [58] Chilectra, «Informe de Sostenibilidad 2013,» [En línea]. Available: <<http://www.enersis.cl/ES/NUESTROCOMPROMISO/Informes%20de%20Soste>>

nibilidad/Chilectra/Informe\_Sostenibilidad\_Chilectra\_2013.pdf>. [Último acceso: 17 Abril 2016].

- [59] Enersis, «Informe de Sostenibilidad 2012,» [En línea]. Available: <[http://www.enersis.cl/ES/NUESTROCOMPROMISO/Informes%20de%20Sostenibilidad/Enersis/Informe\\_de\\_Sostenibilidad\\_Enersis\\_imprimible\\_2012.pdf](http://www.enersis.cl/ES/NUESTROCOMPROMISO/Informes%20de%20Sostenibilidad/Enersis/Informe_de_Sostenibilidad_Enersis_imprimible_2012.pdf)>. [Último acceso: 17 Abril 2016].
- [60] Chilectra, «Memoria Anual 2015,» [En línea]. Available: <<http://www.svs.cl/institucional/mercados/entidad.php?mercado=V&rut=96800570&grupo=&tipoentidad=RVEMI&row=AABbBQABwAAAA5MAAe&vig=VI&control=svs&pestanía=32>>. [Último acceso: 17 Abril 2016].
- [61] El blog de la energía sostenible, «Smart city o la ciudad inteligente del futuro,» 5 Junio 2012. [En línea]. Available: <<http://www.blogenergiasostenible.com/smart-city-o-la-ciudad-inteligente-del-futuro/>>. [Último acceso: 16 Abril 2016].
- [62] Enersis, «Informe de Sostenibilidad 2014,» [En línea]. Available: <<http://www.enersis.cl/ES/NUESTROCOMPROMISO/Informes%20de%20Sostenibilidad/Enersis/EnersisSost2014.pdf>>. [Último acceso: 17 Abril 2016].
- [63] Electroindustria, «SMARTCITY SANTIAGO. La primera “ciudad inteligente” en Chile,» Octubre 2014. [En línea]. Available: <<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2386&xit=smartcity-santiago-la-primera-ciudad-inteligente-en-chile>>. [Último acceso: 30 Abril 2016].
- [64] Chilectra - Smartcity Santiago, «Smartcity Santiago - Medición Inteligente,» [En línea]. Available: <<http://www.smartcitysantiago.cl/medicion-inteligente>>. [Último acceso: 17 Abril 2016].
- [65] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, «Decreto 1T, Fórmulas tarifarias

- distribución 2013 a 2016,» 2 Abril 2013. [En línea]. Available: <<https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1049813>>. [Último acceso: 17 Abril 2016].
- [66] Universidad Técnica Federico Santa María, «Estudio de contribución de ERNC al SIC al 2025,» 29 Julio 2008. [En línea]. Available: <[http://www.archivochile.com/Chile\\_actual/patag\\_sin\\_repre/03/chact\\_hidroay-3%2000028.pdf](http://www.archivochile.com/Chile_actual/patag_sin_repre/03/chact_hidroay-3%2000028.pdf)>. [Último acceso: 22 Mayo 2016].
- [67] Eurelectric, «Network tariff structure for a smart energy,» Mayo 2013. [En línea]. Available: <[http://www.eurelectric.org/media/80239/20130409\\_network-tariffs-paper\\_final\\_to\\_publish-2013-030-0409-01-e.pdf](http://www.eurelectric.org/media/80239/20130409_network-tariffs-paper_final_to_publish-2013-030-0409-01-e.pdf)>. [Último acceso: 23 Marzo 2016].
- [68] Cámara de Diputados de Chile, «Proyecto de Ley: Establece nuevos sistemas de transmisión de energía eléctrica y crea un organismo coordinador independiente del sistema eléctrico nacional.,» 11 Agosto 2015. [En línea]. Available: <[https://www.camara.cl/pley/pley\\_detalle.aspx?prmID=10660&prmBoletin=10240-08](https://www.camara.cl/pley/pley_detalle.aspx?prmID=10660&prmBoletin=10240-08)>. [Último acceso: 23 Mayo 2016].
- [69] Centro de Energía - Universidad de Chile, «Eficiencia Energética para clientes regulados: resultados de las mesas de eficiencia energética,» [En línea]. Available: <[http://chile.ahk.de/fileadmin/ahk\\_chile/Facelift/Energia/Smart\\_Energy/Documentos/Eficiencia\\_Energetica\\_para\\_clientes\\_regulados.pdf](http://chile.ahk.de/fileadmin/ahk_chile/Facelift/Energia/Smart_Energy/Documentos/Eficiencia_Energetica_para_clientes_regulados.pdf)>. [Último acceso: 21 Mayo 2016].
- [70] Que Pasa Minería, «California Style,» 17 Noviembre 2014. [En línea]. Available: <<http://papeldigital.info/quepasamineria/index.html?2014111701#>>. [Último acceso: 21 Mayo 2016].
- [71] Gobierno de Chile, «Ministerio de Ciencia y Tecnología: Los aspectos clave del

Proyecto de Ley,» 18 Enero 2016. [En línea]. Available: <<http://www.gob.cl/2016/01/18/ministerio-de-ciencia-y-tecnologia-los-aspectos-clave-del-proyecto-de-ley/>>. [Último acceso: 15 Mayo 2016].

[72] Ministerio de Energía de Chile, «Respuestas a la Consulta Pública de la Política Energética,» 2015. [En línea]. Available: <[http://www.energia2050.cl/uploads/libros/respuestas\\_cp\\_2050.pdf](http://www.energia2050.cl/uploads/libros/respuestas_cp_2050.pdf)>. [Último acceso: 15 Mayo 2016].

## 11. ANEXOS

### ANEXO 1

<i>Líneas de transmisión y subestaciones</i>	
A continuación se presenta el status de tecnologías listas para su implementación, que han sido objeto de investigación y desarrollo significativo, pero aún no han sido ampliamente comercializadas.	
<b>Evaluación de circuito térmico dinámico (DTCR, Dynamic Thermal Circuit Ratings)</b>	Status: requiere desarrollo en casos de negocio.
Su objetivo es aumentar la capacidad de transmisión, incrementando el flujo de energía a través de las líneas actuales, con mínima inversión y monitoreo de datos del sistema en tiempo real	
<b>Limitadores de corriente de corto circuito (SCCL, Short-circuit current limiters)</b>	Status: requiere desarrollo adicional para reducir su costo y tamaño.
Su objetivo es detectar corrientes de falla o cortocircuito y actuar rápidamente para insertar impedancia.	
<b>Tecnologías de control de flujo de energía. También llamadas sistemas de transmisión flexibles en corriente alterna (FACTS, Flexible AC Transmission Systems).</b>	Status: requiere acelerar el desarrollo de la electrónica de potencia avanzada a fin de reducir drásticamente el costo de los dispositivos.
Utilizan electrónica de potencia. Su objetivo es control de flujo de potencia, control de flujo de energía, intercambio de carga entre corredores paralelos, regulación de voltaje, aumento de estabilidad y mitigación de oscilaciones del sistema.	
<b>Convertidores de fuentes de voltaje (VSC, Voltage Source Converters)</b>	Status: se requiere acelerar su despliegue.
Son convertidores de alta tensión de corriente continua (HVDC) auto-conmutados y, a diferencia de los convertidores HVDC tradicionales, no dependen de máquinas síncronas en el sistema de corriente alterna para su funcionamiento.	

<b>Unidad de medición fasorial (PMU, Phasor measurement unit)</b>	Status: se requieren aplicaciones analíticas y de visualización avanzadas para maximizar su uso.
<p>Permite efectuar la captura de las señales trifásicas de voltaje y corriente, 30 veces por segundo, en puntos estratégicos del sistema de transmisión, de manera sincronizada, con la ayuda de dispositivos GPS. La instalación generalizada de PMUs mejorará la capacidad del sistema para supervisar y gestionar la confiabilidad y seguridad de la red, ya que otorgan datos más precisos y más rápidos que los sistemas SCADA convencionales que típicamente toman observaciones cada cuatro segundos.</p>	
<b>Dispositivos electrónicos inteligentes (IEDs, Intelligent Electronic Devices)</b>	Status: se requiere acelerar su desarrollo para mejorar aún más la funcionalidad de la red.
<p>Contemplan una amplia gama de controladores basados en microprocesadores, tales como interruptores, transformadores y bancos de condensadores.</p>	

<b>Las siguientes tecnologías requieren investigación, desarrollo y demostración adicional.</b>	
<b>Convertidores HVDC y otros controles que se basan en dispositivos semiconductores electrónicos de potencia.</b>	Status: Requieren apoyo ya que son una promesa para aumentar significativamente el valor de las aplicaciones de la industria eléctrica.
<b>Almacenamiento de energía eléctrica avanzado (AES, Advanced Energy Storage)</b>	Status: se requiere continuar y mejorar la investigación de nuevas tecnologías de almacenamiento, el desarrollo de tecnologías comerciales en etapa temprana y la demostración de diversas aplicaciones.
Es una de las principales limitaciones del sistema de suministro de electricidad.	
<b>Robótica y vehículos aéreos no tripulados pueden reducir los costos de inspección y aumentar la seguridad</b>	Status: requiere más investigación.
<b>Herramientas avanzadas para gestión de la red (AGM, Advanced Grid Management)</b>	Status: se requiere continuar investigación y desarrollo.
Su objetivo es mejorar el análisis y gestión de datos, sobre la base de las técnicas de simulación de las operaciones en tiempo real de fines del siglo pasado.	
<b>Los sensores avanzados y otros dispositivos electrónicos inteligentes (IED)</b>	Status: requieren acelerar el desarrollo.
Para monitorear en tiempo real el estado de las líneas y subestaciones	
<b>Tecnologías HVDC avanzadas.</b>	Status: requieren continuar el desarrollo.
Ejemplos: condensadores en serie fijos, interruptores de gran capacidad (<60 kA), transformadores de más de 1.500 MVA, reactores controlables, conductores de bajo nivel de ruido, tecnología de doble circuito, dispositivos HVDC de múltiples terminales, sistemas híbridos HVDC/CA.	

<b>Sistema operativo de próxima generación</b>	Status: debe basarse en la computación de alto rendimiento (HPC, high performance computing).
<b>Cables superconductores de alta temperatura</b>	Status: requieren disminuir su costo.
En el largo plazo deberían reemplazar los cables convencionales de cobre o aluminio.	
<b>Nuevos materiales para la industria de eléctrica</b>	Status: se requiere expandir los programas de investigación.
Incluye aplicaciones de la nanotecnología para uso en interruptores, aisladores, conductores y fluidos, que darán a la red una capacidad de respuesta más inteligente.	

<i>Distribución</i>	
A continuación se presenta el status de tecnologías que han sido objeto de investigación y desarrollo significativo, y que están disponibles para uso comercial.	
<b>Distribución automatizada (DA, Distribution Automation)</b>	Status: requiere ampliar despliegue.
Involucra la integración de sistemas SCADA, sensores avanzados de distribución, IEDs y sistemas de comunicación de dos vías avanzados para optimizar el rendimiento de la red	
<b>Infraestructura de medición avanzada (AMI, Advanced Metering Infrastructure)</b>	Status: requiere acelerar despliegue.
Los medidores inteligentes son el componente principal de la AMI y, a menudo, son la primera tecnología utilizada por las empresas de distribución en los programas de red inteligente. Sin embargo, AMI contempla además sistemas de comunicación (hardware y software) encriptados, redundantes y con capacidad de auto-recuperación, y sistemas de medición de datos.	
<b>Inversores inteligentes avanzados</b>	Status: disponibles para uso comercial.
Para resolver o minimizar los problemas de integración a la red de los DER, especialmente solar fotovoltaicos.	
<b>Reductor de voltaje de conservación (CVR, Conservation Voltage Reduction) y optimizador de voltaje-VAR (VVO, Volt-VAR optimization)</b>	Status: tecnologías están en las últimas etapas de desarrollo y demostración y requieren apoyo para el desarrollo de herramientas de análisis para facilitar su adopción.
Para aumentar la eficiencia del sistema de distribución, disminuir las pérdidas, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, reducir la demanda punta y reducir los requerimientos de generación.	

<b><i>Las siguientes tecnologías requieren investigación, desarrollo y demostración adicional.</i></b>
<b>Modelos de computadora para las nuevas tecnologías</b>
Necesitan ser desarrollados e incorporados en los instrumentos de planificación.
<b>Arquitecturas de micro-red</b>
Se requiere evaluar cuáles serían las arquitecturas ideales para permitir su integración en operación normal y en emergencia.
<b>Electrónica de potencia avanzada</b>
Se puede implementar en sistemas de distribución para gestionar los flujos de energía, optimizar la tensión y la potencia reactiva para reducir los requerimientos de generación y mejorar la calidad de la energía, y en centros de datos e instalaciones industriales para garantizar la calidad y confiabilidad de aplicaciones sensibles.
<b>Sistemas de gestión de la distribución (DMS, Distribution Management Systems)</b>
Sirven para integrar los sistemas de información y operación, y para manejar gran cantidad de datos que caracterizan la gestión del sistema en tiempo real. Status: se requiere DMS más sofisticados para los nuevos requisitos que implica gestionar las tecnologías DER. Un DMS completamente funcional, dada la tecnología actual, consistiría en una única interfaz de usuario para SCADA, Sistema de gestión de detenciones (OMS, Outage Management System), estado del sistema de distribución, información de conmutación, aplicaciones de distribución automatizada, y análisis avanzado.
<b>Transformador universal inteligente (IUT, Intelligent Universal Transformer)</b>
Es la primera generación de transformadores con electrónica de potencia que reemplaza los transformadores convencionales. Este nuevo concepto de transformadores incluye una interfaz bidireccional que ofrece integración directa de los sistemas fotovoltaicos, sistemas de almacenamiento y carga de vehículos eléctricos. También incorporará funciones de mando y control para la integración del sistema, gestión local y funcionamiento en isla. Status: se requiere demostración y desarrollo.

**Micro unidades de medición de fasores para redes de distribución (PMU, Phasor Measurement Units)**

Proporciona datos en tiempo real a aplicaciones de diagnóstico y de control para apoyar la integración de los recursos de energía distribuida Status: se está iniciando la fase de demostración.

<i>Consumidor</i>
Áreas que justificarían I+D adicional.
<b>Inversores fotovoltaicos</b>
Son unidades basadas en microprocesadores que se utilizan para transformar el voltaje de corriente continua de un sistema fotovoltaico (PV) a corriente alterna, para conectarlo a la red. Está en desarrollo una nueva generación de micro-inversores que permitirá que cada panel fotovoltaico sea conectado a su propio micro-inversor, aumentando el rendimiento general del sistema y proporcionando flexibilidad a los diseños.
<b>Sistema de gestión de energía residencial (REMS, Residential Energy Management System)</b>
Los sistemas pasivos sólo pueden presentar el consumo de energía en tiempo real. Los sistemas activos pueden realizar ajustes en los dispositivos de una casa inteligente (IHD, intelligent home devices), tales como termostatos inteligentes, calentadores de agua, etc., basándose en señales recibidas desde las distribuidoras o desde un tercero.
<b>Portal de consumo de energía</b>
La mayoría de las empresas distribuidoras ofrecen a sus clientes el acceso a sus datos de consumo a través de su página web. La reticencia de los consumidores a comprar un EMS podría deberse a las opciones en línea que sustituyen partes clave de su funcionalidad.
<b>Visualización y acceso a información de energía en casa</b>
Proporcionar información en tiempo real sobre el consumo de energía es una promesa significativa para reducir la demanda de electricidad. Las personas necesitan una fuerte motivación para el cambio de hábitos de consumo, tales como competencia, reconocimiento, compensación, confianza de que sus acciones harán una diferencia, y la retroalimentación positiva. A medida que se desarrollan las RI, están surgiendo diversos métodos para proporcionar datos de consumo, costo e información del medio ambiente, denominados IHD (in-home display).

<b><i>Aplicaciones y dispositivos listos para la red</i></b>
Se conocen como DR-ready, ya que se fabrican con las capacidades de los dispositivos de respuesta a la demanda incluidos. La EAC anticipa que se masificarán en los próximos años.
<b>Infraestructura para carga de vehículos eléctricos con enchufe y tecnologías de comunicación de la RI con los vehículos.</b>
Todas las aplicaciones que pueden proporcionar capacidad de potencia de flujo inverso no han sido probadas. Su impacto en la durabilidad de la batería, en la aceptación del distribuidor, automotor y consumidor, y en la economía, aún no se han demostrado. Por lo tanto, sigue requiriendo investigación y desarrollo.
<b>Mejora de la comunicación para automatización de edificios</b>
La respuesta de la demanda automatizada (ADR) se puede lograr mediante comunicación con sistemas avanzados de gestión de energía de los edificios, utilizando una señal de internet o alguna otra forma de enlace directo.
<b>Mercado y diseño de tarifas</b>
La incorporación de nuevas tecnologías está generando cambios en el mercado, por lo que se recomienda rediseñar tarifas eléctricas.
<b>Comprensión del comportamiento del consumidor</b>
La industria necesita entender los factores que motivan a los consumidores para la adopción de nuevas tecnologías inteligentes, con el propósito de canalizar el desarrollo hacia la agregación de valor para los clientes y beneficios para la red.

### *Ciberseguridad:*

En relación con la RI, la Corporación para la Confiabilidad de Norte América (NERC, North American Electric Reliability Corporation) ha creado estándares de infraestructura crítica. Las empresas distribuidoras están considerando la seguridad cibernética como parte de los proyectos de tecnología de la información (TI) para infraestructura de medición avanzada, sistemas de gestión de vehículos eléctricos con enchufe, distribución automatizada, subestaciones automatizadas, mejoras en la transmisión, programas de respuesta a la demanda y comunicación con dispositivos. La seguridad informática en la RI debe incluir un equilibrio entre las tecnologías electrotécnicas y cibernéticas, y los sistemas de operación y control de los procesos de TI y de energía. Status: se requiere mucha investigación para mejorar las tecnologías de TI para que puedan resistir los ataques.

### *Comunicaciones*

Casi todas las tecnologías mencionadas anteriormente generarán nuevos datos que estarán disponibles para su uso. Por lo tanto, se requiere una nueva infraestructura capaz de soportar el mayor nivel de monitoreo, análisis y control de información para las operaciones de la RI.

Las comunicaciones y, por lo tanto la interoperabilidad de los dispositivos, constituyen la columna vertebral para integrar la demanda de los clientes con operaciones de las empresas distribuidoras.

## ANEXO 2

Metric No.	Metric Name	Enables Informed Participation by Customers	Accommodates All Generation & Storage Options	Enables New Products, Services, & Markets	Provides Power Quality for the Range of Needs	Optimizes Asset Utilization & Efficient Operation	Operates Resiliently to Disturbances, Attacks, & Natural Disasters
1	Dynamic Pricing	Emphasis	Mention	Mention			Mention
2	Real-Time Data Sharing					Mention	Emphasis
3	DER Interconnection	Mention	Emphasis	Mention		Mention	
4	Regulatory Policy			Emphasis			
5	Load Participation	Emphasis			Mention	Mention	Mention
6	Microgrids		Mention	Mention	Emphasis		Mention
7	DG & Storage	Mention	Emphasis	Mention	Mention	Mention	Mention
8	Electric Vehicles	Mention	Mention	Emphasis			Mention
9	Grid-responsive Load	Mention	Mention	Mention	Mention		Emphasis
10	T&D Reliability						Emphasis
11	T&D Automation				Mention	Emphasis	Mention
12	Advanced Meters	Emphasis	Mention	Mention			Mention
13	Advanced Sensors						Emphasis
14	Capacity Factors					Emphasis	
15	Generation, T&D Efficiency					Emphasis	
16	Dynamic Line Rating					Emphasis	Mention
17	Power Quality			Mention	Emphasis		
18	Cyber Security						Emphasis
19	Open Architecture/Std.			Emphasis			
20	Venture Capital			Emphasis			
21	Renewable Resources		Emphasis	Mention	Mention	Mention	

Algunas métricas contribuyen a varias características y se ha marcado con amarillo aquella en que la métrica tiene mayor énfasis.

