TRANSFORMACIÓN DEL CAMPUS MIRAFLORES DE LA UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE EN UN LABORATORIO A ESCALA REAL DE GESTIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA DOCENCIA E INVESTIGACIÓN.

José Mardones, Instituto de Electricidad y Electrónica, Universidad Austral de Chile, jmardones@uach.cl
Christian Lazo Ramírez, Instituto de Informática, Universidad Austral de Chile, clazo@uach.cl
{Daniel Luhr Sierra, danielluhr@uach.cl, Lorenzo Reyes Chamorro, lorenzo.reyes@uach.cl}. Instituto de Electricidad y Electrónica, Universidad Austral de Chile,

RESUMEN

Al confluir varias situaciones que requieren atención, siempre se espera que los investigadores y tomadores de decisiones desarrollen acciones que hagan uso eficiente y óptimo de los recursos. En educación, esto significa que los diseños tanto de los procesos de enseñanza-aprendizaje como de las metodologías para completarlos con éxito, puedan hacer uso de recursos compartidos por una gran cantidad de estudiantes y docentes y que, además, sean sitio de desarrollo de proyectos de investigación, donde los estudiantes puedan aprender a trabajar no sólo en las actividades propias de su profesión sino también en ambientes de investigación y vinculación con el medio. Además, se espera que la experiencia de aprendizaje debe desarrollarse en entornos y contextos que sean más cercanos a la realidad, en características y escala. En este trabajo, se presenta el diseño y el informe de conclusión de las etapas iniciales del desarrollo de un laboratorio a escala real de gestión de energía que pretende convertir la red eléctrica de un campus completo en una red inteligente, que permita el ensayo y prueba de tecnologías de generación, de distribución, y de gestión de consumo activo presentes en una grilla de mayor tamaño. Lo anterior se alinea con la transformación curricular de las carreras Ingeniería Civil Mecánica e Ingeniería Civil Electrónica.

PALABRAS CLAVES: *SmartGrid,* ABP, Metodologías activas, *Smart Metering*, AMI, Domótica, Inmótica, Energías renovables, Eficiencia energética, Generación distribuída.

INTRODUCCIÓN

Al declarar algún tipo de proceso enseñanza-aprendizaje asociado a cualquier nivel de la escala educacional, primaria, secundaria o terciaria, quién lo declara debe tener en cuenta que el cambio a esa nueva forma de hacer educación significa el compromiso con nuevos y distintos paradigmas bajo los cuales se ejercerá el proceso. La Universidad Austral adopta para la enseñanza de la Ingeniería como modelo educativo la formación basada en competencias para todas sus carreras y la formación por competencias después para dos carreras en particular: Ingeniería Civil Mecánica e Ingeniería Civil Electrónica.
Lo anterior no sólo significa ajustar el currículo a esta nueva forma de desarrollar las carreras, sino que modificar, en concepto y en forma, los recursos que se dispondrán para realizar el proceso de enseñanza-aprendizaje. Así laboratorios, biblioteca, recursos de TIC, aulas, espacios de trabajo colaborativo, espacios para la innovación, entre otros, deben ser adaptados para el desarrollo de nuevas metodologías que, seguramente, deben estar centradas en el estudiante.
Ya cuando la carrera de Ingeniería Civil Electrónica comienza a funcionar en un esquema basado en competencias, se desarrolla un proyecto para implementar un laboratorio de automatización y control que tiene una cobertura a nivel de campus, con un lugar centralizado

donde se realizan los desarrollos de las prácticas pero que se aplican en laboratorios remotos. Este laboratorio es compartido por las carreras de Electrónica y Mecánica.
Por otra parte, la revolución energética mundial, producto del deseo de fomentar la penetración de fuentes de energía renovable, de manera de reemplazar las fuentes tradicionalmente utilizadas, que están en proceso de agotamiento y que además son la mayor fuente de contaminación del medio ambiente, impulsan la investigación, el desarrollo y la innovación en este campo y en muchos otros relacionados.
Así, en las distintas matrices energéticas a nivel mundial hay una mudanza en curso para desechar las fuentes primarias basadas tanto en combustibles fósiles como nuclear, hacia fuentes renovables y limpias como la energía fotovoltaica, eólica, hidráulica, biomasa, entre otras.
La Universidad Austral entre las competencias sello que declara, menciona que todas las actividades deben apuntar a un compromiso con la naturaleza y el desarrollo sustentable. Lo anterior obliga a infundir en los estudiantes y en el entorno social y productivo, un actuar conforme a lo declarado, por lo que todos los esfuerzos deben apuntar al logro de este compromiso. Este proyecto tiene también como uno de sus propósitos el demostrar que la Universidad puede realizar acciones concretas en pos de mejorar la calidad de vida de sus miembros, los de la comunidad con la que tiene relación y con aquella que se verá afectada por la acción de los profesionales formados.

DESARROLLO

El método de aprendizaje basado en proyectos o en problemas obliga a desplegar una infraestructura donde las actividades del proceso deben ser obligatoriamente desarrolladas sobre objetos concretos. En una escuela de Ingeniería, los objetos concretos son dispositivos, equipos y sistemas que, idealmente, deben ser lo más parecidos a los que funcionan en el mundo productivo. Así, un estudiante de ingeniería mecánica debe interactuar con un equipo de generación de calor que sea semejante no sólo en lo relativo a su principio de funcionamiento sino también en su diseño, construcción y operación respecto a algunos de los modelos comercializados que se encuentran vigentes.
Además, a partir de los modelos instalados, se espera que las actividades de final de carrera, tales como proyectos de iniciación de título y los propios proyectos de título, desarrollen mejoras a los equipos ya en funcionamiento o que incluso lleguen a desarrollar nuevas y mejores tecnologías que las ya existentes.
Para todo ello, es necesario contar con una capacidad instalada (*testbed*) que despliegue los recursos mínimos como para que los proyectos sean desarrollados.
Un tema que está captando mucha atención en el mundo de la ingeniería y tecnología es la energía, en todas sus variantes. La especialidad de electricidad y electrónica es una de las más afectadas en este sentido, puesto que la mayoría de las energías son utilizadas para generar electricidad.
Dentro de los problemas a abordar por las especialidades ligadas a la electricidad está el producido por la gestión del ciclo de la energía eléctrica. En este contexto, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, nace la iniciativa de convertir el campus en un laboratorio de gestión de energía, que considere la incorporación fuentes de generación renovables, sistemas de medición inteligente y caracterizadores de consumo, desarrollo de soluciones domóticas e inmóticas y modelamiento del comportamiento de la red, con el propósito de realizar monitoreo, control automático y gestión inteligente de la red.
Existen en el mundo algunas experiencias que apuntan en la misma dirección que esta propuesta. Entre ellos es necesario citar a TECNALIA [01] empresa española que instaló un

gran laboratorio de infraestructura experimental para *Smart Grid*, vendiendo servicios de *testbed* para tecnologías asociadas.

La Universidad de Birmingham, UK, dispone de un laboratorio denominado "*Power and Control Group*" [02] que ofrece una instalación a escala de una *Smart grid* para investigación en redes de potencia, inyección de energía a partir de fuentes renovables, destacando las capacidades del laboratorio en líneas de investigación tales como métodos de control y operación para redes de potencia, técnicas de control distribuído e interconexión para fuentes generadoras de energía eléctrica, dispositivos de protección y control y algoritmos para componentes individuales y barreras técnicas para la integración de energías renovables generadas desde fuentes distribuídas en una red de potencia.

Otro ejemplo notable es la ciudad laboratorio de Morbach ubicado en Alsacia, Alemania, que queda definida como ciudad laboratorio de energía sustentable [03], en la cual son probadas diversas tecnologías generadoras y de *Smart grid* a nivel industrial.

La universidad de California Berkeley, en el estado de California, U.S.A.,[04] también despliega un laboratorio intracampus, pero que funciona como maqueta.

Asimismo, en la universidad de León, España [05], está ubicado el Laboratorio Remoto de Automática, en el cual se aloja a su vez el Sistema de Gestión Eléctrica de la Universidad de León, que también opera en modo maqueta.

Un caso particular es el de la *École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)*, donde una infraestructura de monitoreo masivo ha sido instalada en un sub-sistema del campus, cuyo desempeño puede ser consultado en tiempo real en su sitio web. [06]

Finalmente, se hace mención a lo que ocurre en la Universidad Técnica de República Checa, en Praga, [07] la que dispone de un laboratorio denominado "Centro Universitario para eficiencia Energética en Edificios" que despliega un laboratorio a escala real donde, entre otras cosas, se pueden probar dispositivos y sistemas asociados a una *Smart grid*, así como otras tecnologías *Smart metering.*

A nivel nacional, se puede citar la experiencia de la aldea de Huatacondo, ubicada en la región de Tarapacá, donde la Universidad de Chile, a través del El Centro de Energía de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, ha desarrollado un proyecto que implementa la primera micro-red inteligente basada en energéticos renovables, específicamente energía fotovoltaica y eólica, considerando la participación de la comunidad en el uso eficiente de la energía y la operación del sistema y que queda disponible como un laboratorio real en una pequeña villa que es autosustentable en su provisión de energía eléctrica.[08]

A nivel local, dentro de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la UACh reside el Centro de Investigación e Innovación en Energía Marina (MERIC por sus siglas en inglés) iniciado por la empresa DCNS y financiado por el Ministerio de Energía y CORFO, y que cuenta además con la participación de la P. Universidad Católica de Chile, Fundación INRIA Chile, Fundación Chile y Chilectra como empresa asociada. Esta iniciativa pretende desarrollar dispositivos, procesos y sistemas que permitan generar tecnologías capaces de producir energía eléctrica a partir de la energías mareo y undimotriz. [09]

En la figura 1 se muestra el modelo utilizado para desarrollar la iniciativa, considerando tres fases.

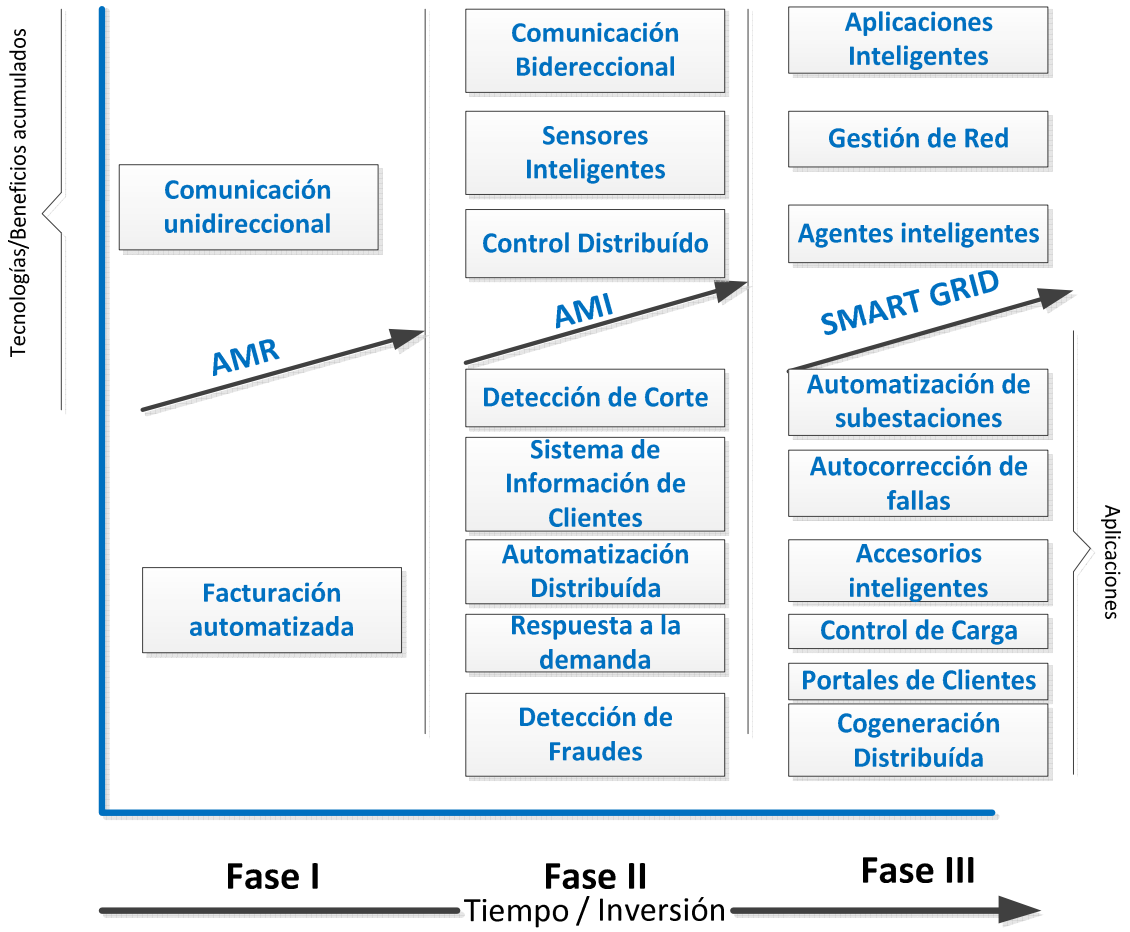

Figura 1. Fases de desarrollo para alcanzar una Smart grid.
Traducido de [10]

En la primera fase se desarrollan mecanismos para determinar la infraestructura topológica y física que se dispone para montar la futura plataforma así como determinar los consumos que caracterizan actualmente la red.
En esta fase fueron iniciados dos trabajos de título de alumnos de las especialidades de Ingeniería Civil Electrónica e Ingeniería Civil Informática de la UACh:

- "DETERMINACIÓN DE UNA ADECUADA CONFIGURACIÓN DE RED WSN PARA SMART-METERING POR SIMULACIÓN" del alumno de la carrera de Ingeniería Civil Electrónica Sr. Angel Jorquera Schaff, que se encuentra en desarrollo aún.
- "ANALISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PROTOCOLO DE SEGURIDAD PARA UNA RED AMI" del alumno de la carrera de Ingeniería Civil Informática Sr. Rodrigo Díaz Flores, que ya se encuentra finalizada.

Las conclusiones de la primera etapa de estos trabajos pretende establecer un diseño óptimo de la topología de la red de nodos medidores que se instalarán al interior del campus Miraflores que permitan obtener datos en línea del comportamiento de la demanda en cada edificio, así como, al finalizar la segunda etapa, disponer de fuentes de energías renovables que inyecten energía a la red.
En la figura 2 se muestra un mapa de los puntos a que se proyectan ser medidos en la segunda fase.

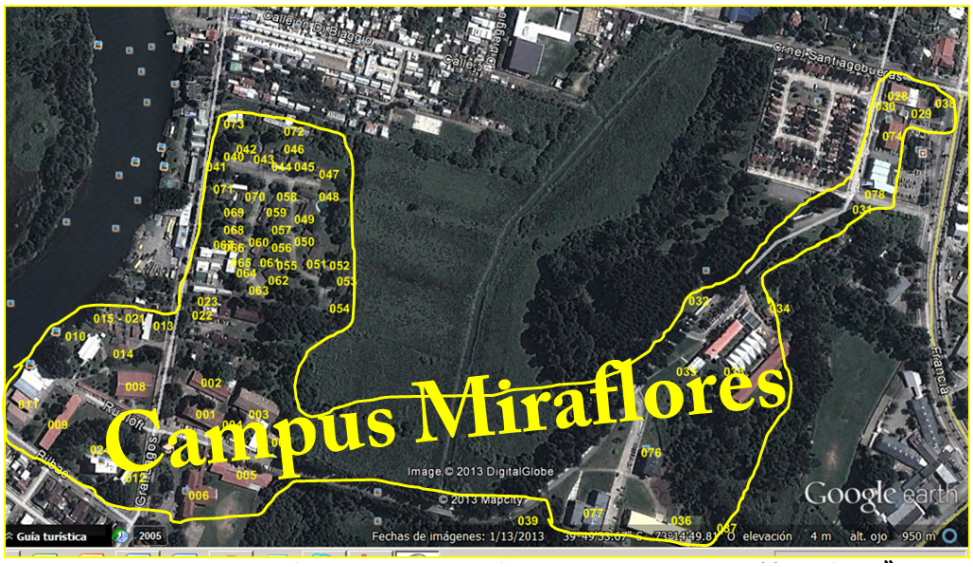

Figura 2. Foto aérea del campus Miraflores de la UACh, indicando centros de consumo de energía eléctrica a convertirse en puntos de medición.

En la segunda fase se han ejecutado o están ejecución trabajos de título de alumnos de pregrado y postgrado. En el primer caso, se finalizó el trabajo "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MEDIDOR ELÉCTRICO INTELIGENTE COMO ELEMENTO FINAL DE UN SISTEMA AMI**"** del estudiante Sr. Jorge Barría Cárdenas quién rindió su examen de grado en mayo recién pasado; asimismo, el ingeniero civil en informática y estudiante del Magister en Innovación de la Universidad Austral de Chile Sr. Paulo Gallardo con el tema **"**DEFINICIÓN DE UN ALGORITMO PARA MEDICIÓN Y MONITOREO DE CONSUMO ELÉCTRICO**",** que se encuentra en desarrollo.

Es necesario hacer presente que estos dos últimos temas fueron desarrollados en conjunto con el *Distributed Electrical Systems Laboratory* perteneciente a *la École Polytechnique Féderalé de Lausanne*, Suiza, durante una pasantía de un mes que desarrollaron los estudiantes en el mes de Junio de 2015. Asimismo, esta entidad suiza aportó con fondos para financiar la compra de dispositivos e insumos que permitieran desarrollar el medido eléctrico inteligente de baja tensión, obtenido en la tesis del ahora ingeniero Jorge Barría.

Actualmente existen dos iniciativas que en corto plazo podrían convertirse en trabajos de titulación de estudiantes de ingeniería civil electrónica; uno, es el diseño y construcción de un medidor fasorial para baja y media tensión y el otro es un sistema que permita caracterizar perfiles de consumo dentro de una red AMI.

Otra iniciativa que está en desarrollo para esta etapa es la instalación dentro del campus Miraflores de una planta de calefacción distrital con cogeneración eléctrica que usa como combustible biomasa forestal. Esta planta, cuya plataforma se basa en la tecnología ORC (*Organic Rankine Cycle*) que consiste en un proceso termodinámico que combustiona chip de madera para calentar un aceite caloportador, el cual afecta un gas orgánico que, al expandirse, produce energía cinética que es absorbida por la turbina acoplada a un generador de electricidad; para enfriar el gas y disminuir su volumen se utiliza agua; esta, al absorber el calor es utilizada como caloportador hasta los puntos de consumo de calefacción, a los cuales llega a través de una red de tuberías de distribución son temperaturas que van entre los 90°C y los 120°C. La electricidad producida por esta planta es inyectada a la red del campus, donde un medidor inteligente medirá e informará de la cantidad de potencia eléctrica colocada en la grilla.

Una etapa que aún está en proceso de diseño es la generación de nodos de medición inteligente, que posean la capacidad de formar una red de sensores inalámbricos inteligentes y

portátiles, con el propósito de transmitir las mediciones que se efectúen hasta un repositorio de registro y proceso. Estos nodos se construyen a partir del prototipo funcional producido en el trabajo de título del Sr. Jorge Barría. La intención del equipo de trabajo que lleva este proyecto es generar al menos cuarenta nodos sensores inteligentes. Además, es necesario consignar que actualmente un alumno de la carrera de ingeniería civil en informática se encuentra desarrollando un *framework* como su trabajo de título, que permita alojar las funciones de registro de datos, procesos de ellos y presentación de los resultados de las mediciones y reportes adicionales que sean definidos.

En la etapa III, este *framework* será el alojamiento de la capa superior generada por este proyecto, compuesta por las funciones de gestión automática y manual de la red comandada desde esta plataforma, despliegue de aplicaciones inteligentes que permitan obtener estados de los agentes inteligentes que funcionan en la red, accesorios inteligentes como caracterizadores de consumo que permitan apoyar la obtención de datos para alimentar la big data del sistema, proceso de emisión y registro de alarmas y autocorrección de fallas, portales de clientes con despliegue de información en línea y reportes estadísticos de su consumo/generación y, quizás lo más importantes, procesos de control y balance de carga que permita distribuir las funciones de las plantas generadoras y/o interconexión de micro-redes para mejor aprovechamiento de la disponibilidad de energía.

En la figura 3 se muestra un diagrama que describe cuales serían las líneas de desarrollo de investigación y aplicación que serán una fuente de problemas para ser tratados y resueltos en las distintas asignaturas, no solo de la carrera de Ingeniería Civil Electrónica, sino que alcanzaría a otras especialidades como Ingeniería Civil Mecánica, Ingeniería Civil Informática, Ingeniería Naval, Ingeniería Civil en Obras Civiles, Ingeniería Forestal, Ingeniería Agraria, entre otras

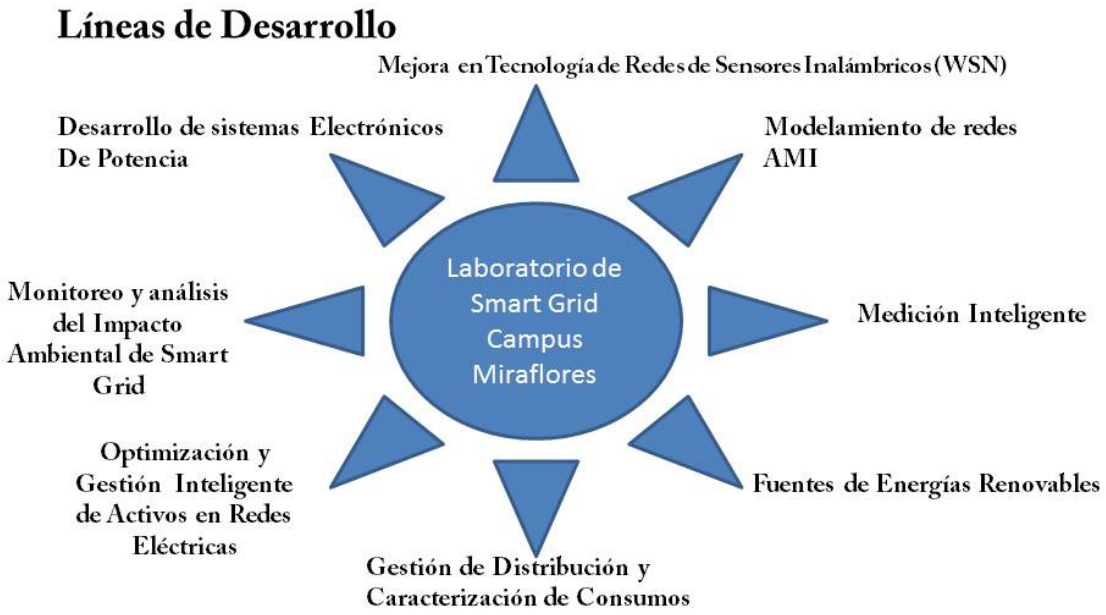

Figura 3. Diagrama de Líneas de desarrollo que potenciará el laboratorio.

RESULTADOS

Dentro de los resultados alcanzados se pueden mostrar los trabajos finalizados de dos alumnos, hoy ya titulados.
Trabajo de título "**Diseño e implementación de un medidor eléctrico inteligente como elemento final de un sistema AMI",** del exalumno Sr Jorge Barría Cárdenas, cuyos objetivos alcanzados son :
Objetivo general
Desarrollar un sistema medidor eléctrico inteligente utilizando sistemas embebidos para obtener información respecto al funcionamiento de la red eléctrica.
Objetivos específicos

- Realizar el diseño electrónico y desarrollo de software para el acondicionamiento y posterior procesamiento de las señales de corriente y voltaje de la red eléctrica.
- Diseñar el paquete de datos a utilizar para la transmisión de las mediciones a través de cualquier canal.
- Identificar los parámetros de calidad necesarios para una aplicación AMI.
- Evaluar el sistema desarrollado por medio de pruebas de laboratorio.

Trabajo de título "**Análisis, Diseño e Implementación de Protocolo de Seguridad Para Una Red Ami"** del exalumno Sr. Rodrigo Díaz Flores, cuyos objetivos alcanzados son:
Objetivo general
Analizar, diseñar e implementar un protocolo de seguridad para transmisión de datos dentro de una Red Automated Meter Infrastructure.
Objetivos específicos

- Describir la situación actual, y conceptos relacionados de una red AMI dando énfasis
- a sus vulnerabilidades.
- Analizar diferentes escenarios de protocolos de seguridad de los datos de una red AMI. Establecer los requisitos de seguridad que el protocolo debe satisfacer y seleccionar las tecnologías y artefactos de análisis y diseño que permitan su implementación.
- Diseñar e implementar un protocolo de seguridad para la transmisión de datos en una red AMI.
- Establecer métricas y evaluar la solución desarrollada, mediante pruebas simuladas.

El producto final consiste en varias piezas de software que se cargan en los controladores de los nodos medidores para asegurar la transmisión de la data a través de la red.
También fue realizado un *workshop* con académicos de la *Ecole Polytechnique Federale de Lausanne*, Suiza, denominado *"Improving Campus Miraflores Power Grid Visualization by using Smart Grid Technologies*", que se llevó a cabo en el mes de octubre de 2015 en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la UACh, en Valdivia, Chile. En él participaron estudiantes de pre y postgrado, académicos EPFL y de la Facultad e invitados externos, y su desarrollo estuvo centrado en las etapas a seguir para convertir la red eléctrica del campus Miraflores en una *smart grid.*
Se encuentra en pleno desarrollo el estudio por parte de una comisión interdisciplinaria de académicos de las Facultades de Ciencias, Ciencias Forestales, Ciencias Económicas y Administrativas, Arquitectura y de Ciencias de la Ingeniería de una iniciativa para instalar dentro del campus Miraflores de la UACh una central de calefacción distrital con cogeneración ya mencionado en el apartado anterior, como un piloto cuyo objetivo sea una maqueta de prueba para diversos sistemas que permitan mitigar las causas que han producido la catástrofe ambiental en las ciudades del sur de Chile producida por la contaminación del aire a niveles tan

altos que generan emergencias casi a diario. Asimismo, la fuente de energía eléctrica permitiría alimentar la Smart grid proyectada con una fuente de energía primaria renovable como es la dendroenergía.

CONCLUSIONES

El cambio de paradigmas en el proceso de enseñanza aprendizaje en una carrera de ingeniería civil electrónica requiere de apoyo metodológico y de recursos materiales en los que se pueda resolver problemas en distintos niveles de dificultad.
El aprendizaje basado en problemas o proyectos (ABP) considera como base las metodologías activas, las cuales deben desarrollarse en ambientes lo más similar al ambiente real de ocurrencia de los fenómenos estudiados.
Se puede desarrollar un laboratorio a escala real para la implementación de una *Smart grid* sin intervenir las redes públicas de distribución de energía explotadas por las concesionarias. En este caso se muestra un tránsito dentro de una red de distribución de tamaño real, pero que es posible intervenirla.
Es posible contar con todos los elementos constitutivos de una *Smart grid* que permitan completar con éxito el funcionamiento de las tres etapas definidas, ya sea la etapa básica de definir una red física de transmisión de datos, la medición inteligente considerando la inyección de energía al sistema desde microcentrales, centrales pequeñas, medianas y grandes y finalmente, la etapa de Smart grid, que debe considerar aplicaciones inteligentes, gestión de red, agentes inteligentes (IoT), autocorrección de fallas, accesorios inteligentes, control de carga, entre otros.
A partir del desarrollo descrito, se establecen líneas de investigación y desarrollo en áreas tales como: mejoras en tecnología de redes de sensores inalámbricos (WSN), desarrollo de sistemas electrónicos de potencia, modelamiento de redes AMI, fuentes de energías renovables, medición inteligente, gestión de distribución y caracterización de consumos, optimización y gestión de activos en redes eléctricas, gestión de distribución y caracterización de consumos, entre otras.

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

[01] https://youtu.be/fTxldcQT1qI
[02] http://www.birmingham.ac.uk/research/activity/eese/power-control/power-control.aspx
[03] http://www.energielandschaft.de/fr/accueil/
[04]http://eetd.lbl.gov/news/article/56144/the-demand-to-grid-lab-testing-and-demonstrating-smart-grid-and-customer-technolo
[05] http://lra.unileon.es/es/content/sistemasf%C3%ADsicos/gestion_energia_electrica
[06] http://smartgrid.epfl.ch/
[07] https://www.b2match.eu/energycall2014/participants/101
[08] Núñez O., Ortiz D., Palma R.: “Micro redes en la red eléctrica del futuro: el caso Huatacondo”, Revista Ciencia y Tecnología – Universidad de Costa Rica, Vol. 29, número 2, 2013.
[09] http://www.meric.cl/quienes-somos/
[10] V. Cagri Gungor, Dilan Sahin, Taskin Kocak, Salih Ergut, Concettina Buccella, Carlo Cecati, and Gerhard P. Hancke. A Survey on Smart Grid Potential Applications and Communication Requirements. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS, VOL. 9, NO. 1, FEBRUARY 2013- Pags: 28 – 42.