

Proyectos del Fondo Sectorial de Energía y sus resultados

Convocatoria 2011

Resúmenes de los Proyectos presentados en las charlas realizadas por el Ministerio de Industria, Energía y Minería en octubre de 2015.

Prólogo

El Ministerio de Industria, Energía y Minería es responsable de diseñar e instrumentar las políticas del Gobierno referidas a los sectores industrial, energético, minero, telecomunicaciones, micro, pequeñas y medianas empresas, destinadas a la transformación y el fortalecimiento del aparato productivo nacional, de su matriz energética y del sistema de comunicaciones, para el desarrollo sustentable con justicia social, en el marco de la integración regional y la inserción en un mundo globalizado. El Fondo Sectorial de Energía (FSE) se creó por resolución del Directorio de ANII de fecha 1° de octubre de 2008, para la promoción de las actividades de investigación, desarrollo e innovación en el Área de Energía, a través de la financiación de Proyectos de I+D+i.

El Ministerio de Industria, Energía y Minería, a través de la Dirección Nacional de Energía, impulsa el FSE como instrumento para promover capacidades de investigación, desarrollo e innovación en las temáticas energéticas en nuestro país, a través de la financiación de proyectos de I+D+I.

Entre en el mes de octubre de 2015 se realizaron cuatro jornadas de difusión de los proyectos del FSE correspondientes a la convocatoria 2011, abarcando áreas prioritarias como biocombustibles, nuevas fuentes de energía, energía eólica, solar, hidráulica, desarrollo de herramientas, I+D tecnologías, acceso y eficiencia energética, entre otras. El propósito de éstas fue difundir y generar conocimiento a nivel público y privado de los proyectos financiados, sus objetivos y logros alcanzados, permitiendo:

- i. Realizar un fluido intercambio de información, experiencias, propuestas e inquietudes entre los expertos que se encuentren trabajando en la temática y el público;
- ii. identificar la calidad y las vías de acceso a la información existente, así como reconocer la información faltante; y
- iii. definir nuevas posibles líneas de investigación a partir de lo ya realizado, identificando grupos y áreas de trabajo.

Este documento reúne los proyectos correspondientes a la convocatoria 2011, los cuales han sido incluidos respetando los contenidos presentados por sus autores. El MIEM no asume ningún tipo de responsabilidad por los datos vertidos en los proyectos, siendo su única finalidad la de difundirlos.

Índice

Tecnología y Eficiencia	7
<i>Modelos de predicción de la demanda horaria de energía eléctrica en Uruguay</i>	<i>9</i>
<i>Equidad y energía en Uruguay. Análisis interdisciplinario de la demanda energética en el sector residencial de Montevideo</i>	<i>11</i>
<i>Diseño y preparación de materiales para almacenamiento de energía</i>	<i>14</i>
<i>Patrón nacional para el soporte de calibración de instrumentos de medida de calidad de onda y medida de potencia y energía eléctrica bajo condiciones de ondas sinusoidales y distorsionadas</i>	<i>17</i>
<i>Modelado de energías autóctonas en SimSee</i>	<i>20</i>
<i>Determinación de la percepción y características de la apropiación social de las tecnologías de eficiencia energética en el caso uruguayo</i>	<i>21</i>
Energía eólica, energía solar e Hidroenergía	25
<i>Modelado físico de la irradiancia solar utilizando sensado remoto</i>	<i>27</i>
<i>Desarrollo y evaluación de nuevos compuestos cromóforos capaces de actuar como antena en celdas solares de pigmento fotosensibles</i>	<i>30</i>
<i>Aplicando know-how nacional en celdas solares híbridas polimérico-inorgánicas</i>	<i>33</i>
<i>Eólica urbana</i>	<i>36</i>
<i>e-olos Urbis: Micrositting Computacional de Aprovechamientos Eólicos en la Ciudad de Montevideo</i>	<i>38</i>
<i>Aplicación de herramientas de computación alto desempeño, de técnicas 4Dvar (asimilación de datos) y de post procesamiento estadístico a la predicción de la Generación de energía Eléctrica de origen eólico</i>	<i>40</i>
<i>Previsión de niveles en el río Yi con base en información hidrológica en tiempo real y pronósticos meteorológicos</i>	<i>41</i>
Biocombustibles	43
<i>Ingeniería metabólica para la producción de biocombustibles isoprenoides</i>	<i>45</i>
<i>Desarrollo de una cepa de Escherichia coli especializada en la producción de bioetanol a partir del glicerol excedente de la producción de biodiesel</i>	<i>46</i>
<i>Recuperación de hemicelulosas previo al pulpeo Kraft como materia prima para la producción de bioetanol</i>	<i>49</i>
<i>Producción de bioetanol a partir de residuos forestales</i>	<i>52</i>
<i>Evaluación productiva y ambiental de plantaciones forestales para la generación de bioenergía</i>	<i>54</i>

Bioenergía y otros	57
<i>Estudio de la respuesta de variedades de Sorgo bicolor (L) Monech cultivadas en Uruguay a la inoculación con bacterias promotoras del crecimiento vegetal</i>	<i>59</i>
<i>Producción de hidrógeno mediante foto-reformado de glicerol</i>	<i>61</i>
<i>Utilización de glicerol para producción de aceites microbianos.....</i>	<i>64</i>
<i>Cemento portland compuesto (CPC) con ceniza de cáscara de arroz: oportunidad para el ahorro energético y disminución de emisiones de CO₂ en el proceso de elaboración de cementos de nuestro país.....</i>	<i>66</i>
<i>Utilización de la energía geotérmica para calefacción de invernaderos de tomates (lycopersicum esculentum, mill.)</i>	<i>68</i>
<i>Balance de energía</i>	<i>68</i>
<i>Mercados, subastas y nuevas tecnologías en el sector eléctrico uruguayo</i>	<i>70</i>

Tecnología y Eficiencia

Modelos de predicción de la demanda horaria de energía eléctrica en Uruguay

Proyecto ANII - FSE - 2011 - 6209

La imposibilidad de almacenar la energía eléctrica hace de la predicción una herramienta fundamental e indispensable a la hora de gestionar eficientemente su producción. La modelización de la demanda de energía eléctrica permite al ente productor contar con un conocimiento más refinado de los mercados y de los usuarios del sistema, así como una mejor posición a través de la reducción de la incertidumbre para la toma de decisiones. Existen diferentes horizontes de predicción relevantes, dependiendo de cuales sean las decisiones estratégicas que se deban tomar.

El objetivo de este trabajo consiste en la elaboración de un sistema de predicción para el corto plazo, basado en modelos horarios articulados con modelos diarios de predicción. Con ese objeto se estiman y evalúan dos propuestas metodológicas para la predicción de la demanda horaria de energía eléctrica. El modelo de predicción de paso diario es la actualización del propuesto por Lanzilotta et al. (2014).

La información de base, datos de demanda horaria de energía eléctrica, surge de los registros de UTE (Despacho de Carga).

La primera propuesta metodológica corresponde a un modelo univariante estacional ARIMA-IA para una única serie horaria encadenada de demanda eléctrica, que se denominará modelo *benchmark*. Esta serie contiene estacionalidades múltiples, dentro del día, dentro de la semana y dentro del año, las que el modelo contempla a partir de la incorporación de variables representativas del efecto calendario, eventos atípicos y finalmente un componente SARIMA que capta el resto de las regularidades de la serie.

La segunda propuesta, corresponde a la estimación de un sistema de modelos, compuesto por 24 modelos, uno para cada hora del día. Estas 24 series presentan también múltiples estacionalidades, en lo fundamental, las periodicidades dentro de la semana y dentro del año. La especificación utilizada contempla el efecto de los días especiales, las variables climáticas, sus efectos lineales y no lineales en la demanda, así como la interacción entre estas variables así como los eventos atípicos que puedan haberse registrado en el período de modelización a lo que se adiciona un componente SARIMA que recoge la estructura periódica que conservan las series luego del filtrado de estos aspectos mencionados. Siguiendo la estrategia de modelización propuesta por Cancelo *et al.* (2008), se diseñan dos ecuaciones para cada hora del día y se implementa un proceso de estimación en dos etapas.

Finalmente, se evalúa el sistema propuesto en su desempeño predictivo, a nivel individual para cada modelo y en forma comparada. Se contrasta el desempeño de ambas alternativas considerando la predicción a un paso de los 24 modelos horarios y de 1 a 24 pasos en el modelo horario base. En el proceso de evaluación se analiza el desempeño predictivo a un día de estos modelos y se los compara con los resultados del modelo diario.

De la evaluación realizada podría afirmarse que tanto el modelo diario como el modelo horario compuesto por 24 ecuaciones horarias brindan pronósticos ajustados a un día plazo, siempre y cuando no se prevean cambios bruscos de temperatura. Ante estos eventos el mejor pronóstico lo arroja el sistema de 24 modelos horarios. Por otra parte, a horizontes más alejados (2 a 7 días) los modelos horarios dejan de ser adecuados, y la referencia debe estar dada por el modelo diario.

Finalmente, para la predicción horaria se recomienda considerar ambos modelos horarios de forma de tener al menos tres pronósticos de referencia: el que surge del modelo horario base, el del modelo *benchmark*, y un tercero que surja de la distribución dentro del día del pronóstico horario.

Código JEL: C52, Q41

Palabras claves: Predicción demanda energía eléctrica, series horarias, modelos no lineales, temperatura, comparación predictiva.

Responsable Técnico: Bibiana Lanzilotta

Equipo Técnico: Silvia Rodríguez

Centro de Investigaciones Económicas - Cinve

Equidad y energía en Uruguay. Análisis interdisciplinario de la demanda energética en el sector residencial de Montevideo

Proyecto ANII - FSE - 2011 - 6469

“Acá hace mucho calor porque la losa radiante viene por piso y tenemos también la del vecino de arriba. Por lo tanto muchos inviernos se cierran todas las llaves de paso acá adentro porque no soportamos el calor doble... porque pasás mal si no. Eso creo que no ahorra energía en el edificio porque es algo central.” (Entrevistada mujer, ingresos altos, apartamento en altura, propietaria, Punta Carretas)

“- ¿Por qué te hubiera gustado tener una estufa a leña? - Porque siempre me gustó. Por el tema de no estar con la eléctrica o una de kerosene; me parecía más lindo una estufa a leña, quedaba más vistosa. Pero no se puede tocar [la casa]. Esa fue la recomendación del arquitecto.” (Entrevistada mujer, ingresos bajos, casa, realojo, Cerro)

Objetivos del proyecto

El sector residencial de Montevideo es un territorio en tensión tecnológica, económica, cultural y política en el actual contexto de transición hacia una matriz energética nacional. Intervienen con sus intereses particulares el estado, el gobierno local, empresas públicas y privadas, sindicatos y organizaciones sociales y el grupo de consumidores de energía más heterogéneo del país, es decir alrededor de 1,2 millones de habitantes de hogares, con sus hábitos, artefactos, sus condiciones de vida, sus imágenes del presente y el futuro. Este proyecto interdisciplinario tuvo la intención, por un lado, de conocer mejor el sector residencial en materia de consumo de energía y, por otro, entender cómo se expresa la equidad y la desigualdad de nuestra sociedad en torno al uso de la energía. Entonces, el objetivo general ha sido comprender las dimensiones socio-culturales, económicas y de políticas públicas que influyen en la equidad energética en el sector residencial de Montevideo en un contexto de transición energética. Para ello se llevó adelante un proceso de análisis de información secundaria histórica y estadística oficial, así como un relevamiento cuanti-cualitativo en veintitrés hogares, de acuerdo a una muestra por conveniencia definida en base a variables relevantes según la literatura académica internacional y a partir de un análisis mediante árboles de regresión de la Encuesta Nacional de Gastos e Ingresos en Hogares 2005-2006.

Resultados empíricos

Sobre el consumo residencial de energía en perspectiva histórica. Entre 1948 y 1957 el consumo energético de los hogares se habría incrementado acompañando la dinámica productiva. Entre 1957 y 1968, época de estancamiento, se mantuvo un extraordinario crecimiento del consumo residencial de 60%. El modelo de desarrollo vigente concebía a la energía como parte de los bienes y servicios pasibles de ser subsidiados, para contribuir al bienestar de la sociedad. En los 70s y 80s el consumo se estabiliza. Pero, desde la última década del siglo veinte, se observa una tendencia creciente en el consumo final de energía del sector residencial. A pesar de una caída del consumo residencial en términos relativos, sigue dando cuenta de un quinto del consumo nacional en 2013. Por otra parte, el consumo de energía útil en el sector residencial se duplica entre 1965 y 2013, especialmente en los últimos 25 años, aumentando el bienestar de las personas en término de servicios energéticos.

Sobre la equidad y energía en los hogares. La pobreza energética y la pobreza de combustible se manifiesta principalmente en términos de problemas de asequibilidad. Los hogares más pobres,

regularizados en cuanto a su conexión eléctrica, hacen un esfuerzo no solo en materia de ingresos, sino de auto-control diario para no sobrepasar los costos monetarios y energéticos considerados máximos, por programas y propaganda oficial. Los hogares más ricos avanzan muy gradualmente hacia prácticas orientadas a la eficiencia energética pero sin reducir su consumo de energía.

Para el acondicionamiento térmico, los hogares ricos tienen una estrategia de creciente diversificación en las fuentes de energía, aunque con tendencia a la electrificación. La “splitización” en los hogares medios y ricos convive con la subutilización del equipamiento para calefacción. La gran mayoría de los informantes de la muestra por conveniencia, atravesando los distintos niveles socio-económicos, tienen una sensación de confort térmico positiva, a pesar de que en muchos casos se encuentran en discomfort térmico según los indicadores aceptados internacionalmente. De acuerdo a la ECH2011 se constata que cuanto más alto es el decil de ingresos, aumentan tanto la cantidad de habitaciones que se calefaccionan como la frecuencia con la que lo realizan. Las entrevistas cualitativas apuntan a la calefacción central como factor de ineficiencia en los hogares más ricos, aunque los estilos de vida individualizantes también juegan su papel en el acondicionamiento de toda la vivienda simultáneamente. La climatización de cuartos se vuelve de máxima preocupación cuando hay niños en el hogar

Para el calentamiento de agua, se verificó que en todos los niveles socioeconómicos, el calefón eléctrico es el equipamiento utilizado para calentar agua y es percibido como el que genera mayor consumo eléctrico. En hogares de ingresos medios y bajos se verifican hábitos de limitación de uso de agua caliente para baño y para limpieza de losa. El uso de agua “muy caliente” durante las duchas se vincula al confort térmico (especialmente en invierno cuando hay limitada calefacción en el hogar), pero también por la sensación de placer corporal, aunque es muy variable dentro de cada hogar según sexo y generación.

Para la cocción de alimentos, según la ECH 2011, el *supergás* sigue siendo la principal fuente para cocinar, siendo el energético utilizado en forma principal por el 89% de los hogares uruguayos y montevideanos. Parece haber una tendencia a diversificar las fuentes de energía para cocción de alimentos. Los montevideanos usan la leña en estufas y en parrilleros para la reunión social y el placer estético. Prefieren el uso del horno eléctrico para mejorar el resultado culinario. El microondas no es percibido como aparato de “cocción”, lo cual coincide con la forma de recoger información estadística.

Sobre la relación ontológica de las personas con la energía, el estudio confirma que para la gran mayoría de las personas la electricidad es la energía sustantiva en los hogares y sobre la que se lleva cierto control, por su importancia relativa en el gasto monetario del hogar. UTE es la entidad asociada a la energía en el imaginario social. La provisión de energía eléctrica es concebida de forma similar al agua potable, como flujo que comienza en la vivienda y es garantizada por el estado (en este caso UTE), motivando una invisibilidad del ciclo de vida. No obstante, es creciente la conciencia sobre la existencia de una política energética nacional, asociada en la mayoría de los casos a la generación eólica. La vinculación entre consumo de energía a nivel de los hogares y sus efectos ambientales (directos e indirectos) es apenas explicitada. A diferencia de otros contextos culturales, en Montevideo no se presenta una

limitación de género al acceso a los objetos que usan energía para su funcionamiento ni tampoco sobre la titularidad frente al estado como consumidor/a de energía.

Resultados metodológicos

Los métodos combinados cuanti-cualitativo resultaron útiles para el estudio interdisciplinario del consumo energético a nivel residencial. Sin embargo, no hay un camino lineal para su desarrollo. El proyecto permitió consolidar el Grupo Interdisciplinario de Estudios de la Energía en la UdelAR (<http://equidadyenergiaenuruguay.weebly.com/>)

Se cuenta con un formulario de entrevista que incluye módulos de información descriptiva del hogar, uso y consumo de energía por servicios energéticos, preguntas cualitativas sobre trayectorias de los hogares y percepción y construcción social de la energía. Los informantes de todos los niveles socio-económicos se mostraron abiertos a interactuar discursivamente sobre el uso y consumo de energía a nivel residencial.

El estudio sugiere una tipología básica de tres *contextos residenciales de consumo energético*: *energo devorador* (que muestran un aumento constante del consumo); *energo vigilante* (con ahorro voluntario pero no dejan de satisfacer sus requerimientos energéticos) y *energo austero* (con ahorro obligado e insatisfacción de requerimientos energéticos).

La información estadística existente para el análisis de la residencialización del automóvil es muy limitada y de difícil acceso para la investigación académica, al igual que la información reciente sobre energía final y útil a nivel residencial.

Responsable Técnico: Javier Taks

Equipo Técnico: Reto Bertoni, Alicia Picción, Pablo Messina, Mónica Loustanau, Lucía Caldes, Magdalena Camacho, Soledad Contreras y Sara Milicua¹

¹ El equipo de investigación pertenece a la Universidad de la República, de los siguientes servicios: Facultad de Ciencias Sociales (J. Taks, R. Bertoni, L. Caldés e I. Pardo), Facultad de Arquitectura (A. Picción, M. Camacho y S. Milicua[†]), Facultad de Ciencias Económicas y Administración (P. Messina y G. Mathieu), Facultad de Ingeniería (M. Loustanau) y Servicio Central de Investigación Científica (S. Contreras).

Diseño y preparación de materiales para almacenamiento de energía

Proyecto ANII - FSE - 2011 - 6458

Introducción

El crecimiento de la población y el vasto desarrollo tecnológico conduce a un consumo energético cada vez mayor. El mismo se incrementó en 52% los últimos 20 años, y se espera que siga creciendo a una tasa de 1.5% anual hasta el año 2040 [1,2]. En este contexto, los combustibles fósiles representan el 88% del consumo mundial de energía [1], pero presenta serios inconvenientes, tanto por ser un recurso finito, así como también serias consecuencias ambientales que genera. Es por ello que surge la necesidad de transitar hacia el uso de energías renovables y limpias, lo cual ha generado particular interés, siendo incluido en las agendas de muchos gobiernos, despertando interés del sector privado y la academia [3]. Es importante recordar la meta de que la matriz energética uruguaya alcance el 50 % con energías renovables en 2015 [4]. Surge entonces la necesidad imperiosa de recurrir al uso de energías renovables, tal como es el caso de solar y eólica, pero que por generar energía de forma intermitente requieren de sistemas de almacenamiento para proveer energía de forma estable y fiable. En este marco surge el interés por las baterías de ion-litio. El litio es un material importante, por su bajo peso y buen desempeño. En particular la región se posiciona de muy buena forma en el contexto internacional, ya que Argentina, Bolivia, Brasil y Chile suman más del 50% de la producción de Litio a nivel mundial [5]. En lo que refiere a la tecnología, en el año 2010 el mercado de las baterías recargables de ion-litio alcanzó un mercado de U\$S 11000 millones y sigue su crecimiento [3]. La importante demanda de las baterías de litio está dominada por los dispositivos electrónicos portátiles; pero el emergente mercado de aplicaciones para vehículos eléctricos (VE) y vehículos híbridos (PHEV) se está haciendo un lugar dentro del mismo. Esto posibilita que hoy en día se disponga de vehículos eléctricos con por baterías ion-litio como el Tesla-Model-S o Coda; o vehículos híbridos como el Chevrolet-Volt o el Fisker-Karma. Pero para tener una mayor penetración en el mercado, los expertos coinciden en que los precios de las baterías deberían bajar, al tiempo que se deberá mejorar su rendimiento [6]. El diseño de la celda y su ingeniería de ensamblado ha mejorado y aumentando la densidad de energía (J/gr) de los mismos en los últimos 20 años. De todas formas estos resultados aún no son satisfactorios, dada la necesidad de reducir los costos y de mejorar el desempeño, tanto en los dispositivos electrónicos portables, como en los usuarios de vehículos eléctricos. Los EV y PEHV tienen requerimientos específicos [12], que apuntan a costo, seguridad y duración. Si bien la densidad de energía es el más importante, los criterios de seguridad y ciclo de vida han tomado vital importancia. Aún se está lejos del sistema ideal, lo que explica el intenso trabajo entorno a dicha tecnología, apuntando tanto al diseño de nuevos materiales para electrodos/electrolitos. Esto puede evidenciarse con un análisis general del estado del arte, SCOPUS muestra que el término “ion-litio” muestra un registro total de 44100 artículos. Y su crecimiento es exponencial, con 7624 artículos publicados en el año 2013. Estas cifras se superan año a año, siendo 5777 y 4577 las publicaciones en 2012 y 2011 respectivamente.

Metodología

El proyecto FSE-1-2011-1-6458 propuso como primer objetivo primario se centró en la adquisición de capacidades para la producción y caracterización adecuada de nuevos sistemas cerámicos y nanomateriales para su uso como electrolitos sólidos. Se proponen nuevos sistemas estructurales basados en las fórmulas tipo $RE_{1/2+x-y}Li_{1/2-3x}Bi_yTiO_3$ y $RE_{2/3-x-y}Li_{3x}Bi_yTiO_3$, donde RE corresponde a una tierra rara (RE: La, Pr y Nd). Estos sistemas son interesantes ya que la presencia de tierras raras y bismuto, debido a su variado índice de coordinación, posibilitan la generación de desorden estructural en los titanatos. Este desorden estructural favorece la movilidad de especies iónicas en el mismo, tal como ión Litio, lo que vuelve a estos sistemas potenciales electrolitos sólidos. La síntesis química requirió de ajustes importantes, tanto mediante el uso del conocido método cerámico, como el de combustión asistida por formación de gel.

Una vez preparadas las muestras, donde se demuestra la ausencia de impurezas significativas, mediante Difracción de rayos X de polvo. La micro estructura fue estudiada mediante microscopia de barrido electrónico (SEM) y microscopia de transmisión (TEM). Se obtuvieron imágenes que confirman la homogeneidad y tamaño de partícula en las muestras preparadas.

Para complementar la caracterización estructural se obtuvieron espectros Raman, esta técnica nos permitió confirmar la incorporación de Li a las diferentes muestras (cristalina o no), ya que en tal caso se evidencia un cambio en los modos vibracionales, al comparar con la misma fase sin Li. La caracterización eléctrica se realizó utilizando la Espectroscopia de Impedancia Electroquímica (EIE).

Resultados y Conclusiones

Se obtuvieron los materiales de la serie $RE_{1/2+x-y}Li_{1/2-3x}Bi_yTiO_3$ y $RE_{2/3-x-y}Li_{3x}Bi_yTiO_3$ con RE=La, Pr y Nd. En el caso de Sm, no fue posible obtener materiales monofásicas, con lo cual se preparó un análogo iso-estructural utilizando un dopado doble en el sitio de tierra rara con La y Pr, produciendo compuestos de la serie $(La,Pr)_{1/2+x-y}Li_{1/2-3x}Bi_yTiO_3$ y $(La,Pr)_{2/3-x-y}Li_{3x}Bi_yTiO_3$ monofásicos. Toda las series con $y>0$ no han sido publicadas a la fecha, con lo cual el grupo se encuentra trabajando para publicar estos resultados.

Las fases $Li_xLa_{(2-x)/3}TiO_3$ con $x=0.30$ se obtuvo a temperaturas muchos menores y con propiedades eléctricas mejores a las reportadas en bibliografía. Este aspecto es muy novedoso y relevante tecnológicamente, pues el trabajo a altas temperaturas favorece la volatilización de Li. Los resultados de esta parte del trabajo se encuentran bajo revisión para su publicación [8].

Se caracterizaron todas las muestras preparadas mediante EIE, encontrando muy buenos resultados de desempeño electroquímico en el caso de la serie $Li_xLa_{(2-x)/3}TiO_3$, comparables e incluso algo mejor que el reportado en bibliografía. Se destaca las condiciones de obtención a temperaturas inferiores a las reportadas en bibliografía, con una estructura cristalina diferente, lo que explicaría la mejora de dicho desempeño.

En las restantes muestras no se obtuvieron resultados de desempeño eléctrico mejor a los reportados. De todas formas se destaca enfáticamente que todo este trabajo ha servido para

ganar experiencia en el trabajo con la tecnología de los sistemas ion-litio. Adquiriendo así un muy buen manejo de la espectroscopia de impedancia electroquímica, formando recursos humanos en la utilización de la misma.

Referencias:

[1]http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statisticalReview/statistical_review_of_world_energy_2013.pdf

[2]“U.S. Energy Information Administration-International Energy Outlook-2013”,

[3]“Lithium Ion Batteries Outlook And Alternative Energy Vehicles (Hevs, Phevs, Evs)- Technologies, Markets, Competitors And Opportunities: 2010-2020 Analysis And Forecasts” MarketResearch.com, Rockville, MD.

[4] Política Energética 2005-2030, MIEM-DNETN: www.miem.gub.uy.

[5] Secretaría de Política Económica y Planificación del Desarrollo-Ministerio de Economía y Finanzas Públicas de la República Argentina. “Complejo Minero: Litio”. Informe-2011.

[6] K.C. Kam et al, Material Matters, 7(4), (2012), 56-60.

[7] <http://www.uscar.org/>

[8] Mariano Romero, Ricardo Faccio*, Santiago Vázquez, Sebastián Davyt, Álvaro W. Mombrú. “A confocal Raman microscopy study on the preparation and characterization of LLTO electrolyte by the sol-gel method in acetic medium”. Enviado 2015

Responsable Técnico: Ricardo Faccio

**Patrón nacional para el soporte de calibración de instrumentos de
medida de calidad de onda y medida de potencia y energía eléctrica
bajo condiciones de ondas sinusoidales y distorsionadas**

Proyecto ANII - FSE - 2011 - 6225

Las redes eléctricas de potencia fueron diseñadas originalmente teniendo en cuenta que las ondas de tensión y corriente eran sinusoidales, sin distorsión. Sin embargo, últimamente han proliferado cargas no lineales, tales como equipos electrónicos domésticos e industriales, que producen armónicos en sus corrientes de consumo, los que son inyectados en las redes. Estos armónicos causan diversos problemas, tales como interferencias en equipamientos de comunicaciones, de control y otros sistemas electrónicos, aumento de pérdidas de energía en cables y transformadores de la red eléctrica, y afectación de las protecciones que aseguran operación fiable de estas redes. También afectan las actuales redes inteligentes, las que están en pleno desarrollo a nivel nacional y mundial, y dependen de una gran cantidad de mediciones de parámetros eléctricos.

Otro importante aspecto es la medida de energía eléctrica, con una facturación que llega en Uruguay a montos de unos 2000 millones de dólares anuales, donde ondas distorsionadas pueden conducir a mediciones erróneas. Los actuales medidores electrónicos poseen muy alta exactitud (0,1%). Para las calibraciones se requieren patrones de al menos 4 veces mejor exactitud que el instrumento bajo ensayo, por lo cual después de un par de etapas de calibraciones intermedias se necesitan patrones primarios de laboratorio cuyas incertidumbres estén en unas 15 partes por millón (ppm). Este límite de incertidumbre aplica también a la medición de distorsiones de tensión y corriente inferiores al 1%. La situación es diferente en caso de medidas con ondas de corriente o tensión distorsionadas en el rango del 1% al 10%, en donde alcanza con incertidumbres de 50 ppm.

La mayoría de los países tiene regulaciones sobre límites de armónicos de tensión que deben cumplir los proveedores de energía y límites de corriente de armónicos para los consumidores. Existen múltiples tipos de medidores de calidad de onda, que poseen capacidad de analizar el contenido armónico de ondas de corriente, tensión y potencia tanto instantáneamente como equipos registradores que pueden medir durante un tiempo prolongado acumulando los datos para posteriores análisis. Como todo equipo de medición, es necesario calibrarlos periódicamente, para lo cual se requieren patrones de exactitud adecuada. A su vez, esos patrones de trabajo también deben ser calibrados con trazabilidad a los Laboratorios Nacionales. Actualmente son pocos los Laboratorios Nacionales que poseen equipamiento para estas calibraciones, y en particular en Uruguay no existía. Eso implicaba no tener en el país la capacidad de calibración y soporte de una gran cantidad de medidores de armónicos ya existente, así como futuras ampliaciones ya previstas.

En el presente proyecto se desarrolló un sistema patrón capaz de medir voltaje, corriente y potencia a frecuencia fundamental y armónicos hasta el orden 100, con las incertidumbres mencionadas. El sistema está basado en el uso de dos voltímetros digitales de muy alta exactitud, los que reciben señales proporcionales al voltaje y a la corriente, y un software de cálculo. Para adecuar los voltajes y corrientes a medir, de hasta 500 V y 10 A, se desarrollaron

diversos transductores de tipo resistivo e inductivo. Este sistema constituye un Patrón Primario pues se calibra a partir de las magnitudes de tensión, resistencia y frecuencia con patrones ya disponibles. Siendo que el Laboratorio de UTE mantiene los Patrones Nacionales Eléctricos del Uruguay, el sistema patrón desarrollado en este proyecto pasó a integrar dicho conjunto.

La muy alta exactitud requerida por el proyecto impuso cuidadosos desarrollos: algoritmos para el cómputo de valores eficaces, armónicos y potencias, desarrollo de transformadores de tensión y corriente de muy alta exactitud con compensaciones electrónicas de sus errores, desarrollo de resistores de bajo valor con alta estabilidad, entre otros. La base del sistema es un digitalizador de alta precisión para convertir las señales analógicas a las digitales. Éste debe poseer alta exactitud y alta velocidad de muestreo. El problema de todos los digitalizadores está en que cuanto mayor es la resolución, menor es la frecuencia de muestreo. Como se miden armónicos hasta el orden cien de la frecuencia de red, no es fácil conseguir una baja incertidumbre a esa frecuencia. Se evaluaron varios equipos, desde unidades digitalizadoras hasta multímetros. La opción elegida recayó en multímetros marca Agilent, modelo 3458A. Éste modelo permite configurar su digitalizador interno desde comandos externos. Se realizaron múltiples pruebas para determinar la relación óptima entre resolución y cantidad de muestras por ciclos, ya que debido a la precisión deseada estos aspectos son críticos para el proyecto. Los multímetros digitalizan las señales en modalidad maestro-esclavo para relacionar las fases entre ambas señales.

En este proyecto se analizaron diversos algoritmos de cálculo a nivel teórico, entre ellos: Interpolada de Transformada de Fourier (IFFT), algoritmo de Pogliano, estimación Bayesiana, estimación de 3 y 4 parámetros. Como resultado del estudio se eligieron dos algoritmos: Pogliano y estimación Bayesiana. En un computador con alta capacidad de procesamiento y de memoria se implementaron los algoritmos elegidos usando como herramienta de cálculo matemático Matlab. Se realizaron simulaciones donde se hizo hincapié en la precisión y la velocidad de cálculo. Ambos tuvieron resultados similares en cuanto a la precisión, pero el algoritmo de Pogliano resultó mucho más veloz. Al momento de implementar el software del sistema de medida se compararon dos entornos de programación, Labwindows CVI donde se escriben las líneas de código en lenguaje C y Labview que es un lenguaje de programación Gráfico, eligiéndose este último pues tiene más cantidad de librerías de funciones especializadas implementadas lo cual facilita la programación de un software complejo. El software posee varios módulos importantes: comunicación, pre-procesamiento de la señal, algoritmo, correcciones, escalado de valores y muestra de resultados. La comunicación con los instrumentos se realiza por protocolo IEEE 488 mediante un módulo de comunicación GPIB-USB. El entorno de programación tiene librerías de alto y bajo nivel con las cuales se implementa la comunicación, y a través de ésta se configuran los instrumentos según la modalidad de medida deseada. Como la adquisición es asíncrona es necesario un pre-procesamiento para solamente trabajar con números enteros de ciclos. El algoritmo de Pogliano se basa en crear una matriz con la cantidad de armónicos que se desean evaluar, los cuales se aproximan por un método interactivo de mínimos cuadrados a la señal adquirida. Por filtros internos del instrumento y particularidades de la digitalización es necesario realizar correcciones en la amplitud y fase de los armónicos en función de la frecuencia de cada uno de ellos.

Como las señales a medir pueden llegar a cientos de voltios y varios amperios, se utilizan divisores de tensión y transductores de corriente a tensión, también desarrollados dentro del proyecto. El programa escala los valores medidos en función de la relación de éstos. Estos transductores acondicionan las señales a la tensión de entrada de los multímetros en el rango de 1 V. Se eligió dicho rango por su mayor precisión. Para la realización de estos acondicionadores fue necesario un diseño y una construcción muy cuidada en todos los detalles, realizándose un estudio exhaustivo sobre resistores y núcleos magnéticos. Por último, el programa muestra los valores de tensión, corriente y fase para cada armónico, potencia activa, reactiva, aparente, y también gráficos con las formas de ondas y gráficos de barras mostrando el contenido armónico.

El proyecto comprendió la inclusión de todos los procedimientos de calibración propios del sistema y de medidores comerciales de calidad de onda en el Sistema de Calidad del Laboratorio de UTE, según la norma ISO 17025. Adicionalmente, se está programando una intercomparación a nivel de los Laboratorios Nacionales de las Américas que tiene las condiciones técnicas para participar: Canadá, Estados Unidos, México, Brasil, Argentina y Uruguay, lo cual posiciona técnicamente muy bien a nuestro país en el concierto internacional. De esta forma se está en condiciones de brindar el servicio de calibración de instrumentos de medida de calidad de onda a las propias unidades de UTE y a terceros, cubriendo de esta forma un servicio muy importante para el país del que antes no se disponía.

Como continuación, mediante un nuevo proyecto financiado por el FSE de ANII, se está estudiando la influencia de los transformadores de medida de voltaje y corriente en la medición de armónicos en las redes de alta tensión.

Responsable Técnico: Daniel Slomovitz

Modelado de energías autóctonas en SimSee

Proyecto ANII - FSE - 2011 - 6552

Objetivo general

El objetivo general, es lograr potenciar la plataforma de Simulación de Sistemas de Energía Eléctrica - SimSEE en su capacidad de simular adecuadamente las energías autóctonas.

El proyecto está organizado en tres partes Modelado, Aplicación a la Programación de la Operación del sistema y Aplicación a la Planificación del sistema con 14 objetivos específicos de acuerdo al siguiente listado:

Parte 1) Modelado

- Objetivo 1) Creación de la versión Diezminutal del SimSEE.
- Objetivo 2) Módulo para evaluación económica de eventuales restricciones que imponga la red de transmisión sobre los proyectos de generación distribuida.
- Objetivo 4) Creación de modelo de mini-centrales hidráulicas.
- Objetivo 5) Creación de modelo de centrales con bombeo.
- Objetivo 6) Creación de modelo estocástico de radiación solar sobre el territorio Nacional.
- Objetivo 7) Creación de modelo de parque solar fotovoltaico.
- Objetivo 8) Creación de modelo de central solar-térmica.

Parte 2) Aplicación a la Programación y Operación del sistema

- Objetivo 9) Inclusión de Forzamientos.
- Objetivo 10) Visualizador de Mantenimientos Programados.
- Objetivo 11) Desarrollo de modelo de optimización por escenarios para el corto plazo.
- Objetivo 12) Desarrollo de módulo calibrador de conos de pronósticos. (de viento, temperatura, demanda, radiación solar, etc.)

Parte 3) Aplicación a la Planificación del sistema

- Objetivo 13) Creación de herramienta de planificación de inversiones con especial consideración de las energías renovables.
- Objetivo 14) Modelado y análisis del efecto de las interconexiones y posible integración regional sobre la planificación de la expansión del país.

Responsable Técnico: Ruben Chaer

Equipo Técnico: Enzo Coppes, Milena Gurin Añasco, Magdalena Crisci, Alejandra De Vera, Rafael Terra, Eliana Cornalino y Federico Barreto

Determinación de la percepción y características de la apropiación social de las tecnologías de eficiencia energética en el caso uruguayo

Proyecto ANII - FSE - 2011 - 6442

Este Proyecto se desarrolló entre 10/2012 y 04/2015 desde Facultad de Química por parte de un grupo multidisciplinario de investigadores.

Descripción y objetivos

Se planteaba la construcción de un *Indicador Global de Percepción* constituido por tres indicadores parciales (Indicadores parciales de Conocimientos, Actitudes y Comportamientos), basado en los estudios equivalentes realizados periódicamente en España por la empresa REPSOL. Este se determina en base al estudio de grupos focales, 2000 encuestas a nivel Nacional y entrevistas a representantes de PyMES.

Simultáneamente, se planteaba, a fin de estudiar los mecanismos de *Apropiación Social de las Tecnologías de Eficiencia Energética*, realizar actividades de educación ambiental en Ciudad del Plata que buscaban disminuir en un 10% el consumo de energía eléctrica en Centros Educativos, Hogares y PyMES, durante la ejecución del Proyecto.

Las actividades para el cumplimiento de estos dos objetivos específicos se realizaron en paralelo incorporándose los resultados a medida que se fueron obteniendo.

Se esperaba sentar las bases para continuar, una vez finalizado el Proyecto, las actividades con una metodología mejorada y replicable en otras zonas del país para obtener nuevos y mejores lineamientos para la Política de Eficiencia Energética en Uruguay.

Principales resultados obtenidos

1.- Determinación cuantitativa, por primera vez en Uruguay, de la Percepción social sobre Eficiencia Energética (Global, Conocimientos, Actitud, Comportamiento) en Hogares y Pymes. Los resultados son coherentes y comparables con los obtenidos por Repsol en España. Se disponen de resultados por edad, sexo, ubicación geográfica, nivel socioeconómico, nivel educativo y consumo de energía, entre otros. La muestra estudiada es, comparativamente, mucho mayor que la correspondiente a España (unos 2000 hogares para una población de 3,4 M de habitantes frente a unos 4000 para una población de 46,8 M de habitantes en España) por lo que, además de ser muy detalladas, los resultados son altamente confiables y debieran ser aprovechados por las Organizaciones y Profesionales que trabajan en el tema.

2.- Estudio de los Mecanismos de Apropiación de las Tecnologías de Eficiencia Energética en una muestra de unos 50 Hogares. Determinación de las dificultades de acceso a los mismos (que fueron muy altas, lo cual se nos había advertido previamente), obtención de información y resultados reales del consumo de los electrodomésticos que si bien también presentaron marcadas dificultades condujeron, para la muestra estudiada, a resultados sorprendentes que señalan la conveniencia de perseverar en estos estudios cuantitativos. Se logró una disminución

promedio de unos \$500 por hogar en la factura de UTE. En todos los casos se requirió de un apoyo continuo y constante (coaching) aspecto a tener en cuenta en futuros estudios.

3.-Trabajo en Centros de Estudio. Disminución de consumos. Presentación a Concursos. Efectos demostrativos que están sirviendo de ejemplo para otras Instituciones Educativas. Al igual que en el caso anterior un fuerte y efectivo apoyo también fue la clave en la obtención de los logros alcanzados.

Es decir

Los Objetivos principales del Proyecto fueron alcanzados aunque en algunos casos se demoró más de lo previsto por razones diversas comunicadas en cada oportunidad.

Se consiguieron otros logros no previsibles ni previstos en el Proyecto inicial pero que consolidan los resultados finales, favorecen la Difusión y facilitan en el futuro la continuación de Actividades en el Tema.

Alguna Actividad importante prevista fue suplida por otra y postergada pero no eliminada. Tal es el caso de los Suplementos para Diarios del Interior reemplazados por una edición Laser Color repartida en Villa Rives.

Recursos existentes y disponibles

1.- 10 000 ejemplares de una publicación de 8 páginas, 4 color, 4 blanco y negro formato tabloid. Se editará como suplemento de un Periódico del Interior. Pensado para difundir los resultados de nuestro Proyecto está a disposición para incluir otros Proyectos de E.E. que pudieran resultar comprensibles y de interés para el Público en General. Ya está pago.

2- Se dispone de unos 12 watímetros enchufables que, si bien tienen sus limitaciones, pueden usarse para confirmar (o no) los resultados sorprendentes a los que hacíamos referencia.

3.- Se ponen a disposición los profusos datos (y su análisis) del Estudio de Percepción Social realizado por el Ing. Doyenart de INTERCONSULT.

4.- Idem de los correspondientes a los mecanismos de Apropiación Social realizados por la Lic y MsC Rocío Guevara en Hogares y Centros de Estudio.

5- Idem la experiencia del Director del Proyecto antes, durante y después de la ejecución del mismo-

Actividades futuras que surgen como posibles y pertinentes

1.- Replicado de las actividades en otros lugares. Se está intentando en Tacuarembó.

2.- Repetición del Estudio de Percepción. REPSOL repite el estudio cada dos años.

3.- Edición del Informe final a la ANII bajo formato de libro, como lo hace Repsol después de cada estudio.

- 4.- Coordinación en futuros estudios con Colegas Arquitectos en los aspectos tanto de aislación térmica como de iluminación
- 5.- idem con los Colegas del Centro Uruguayo de Tecnologías Apropriadas (CEUTA) que han estudiado y trabajado en el tema Energía y tienen conocimientos y experiencias complementarias a las nuestras.
- 6.- Actualización de los Equipos de Medida (watímetros Enchufables) pasando a los actuales existentes con acumulación de datos y sensibles a los consumos de stand by-
- 7.- Idem de las zapatillas con llave manual a las actuales intelligent strips qu detectan cuando se enciende un Equipo conectado a ellas y se activan.
- 8.- Habilidad de la compra directa por parte de los Particulares. en el exterior, de artículos como las Lámparas LED, medidores y otros artículos a determinar, bajo el actual sistema de 5 compras menores a US 200.

Responsable Técnico: Mario Rabinovich
Facultad de Química, UdelaR

**Energía eólica, energía solar e
Hidroenergía**

Modelado físico de la irradiancia solar utilizando sensado remoto

Proyecto ANII - FSE - 2011 - 5976

La planificación y control de sistemas de conversión de energía solar en energía útil requiere un conocimiento preciso del recurso solar. A través de este proyecto, se implementaron tres líneas de acción que mejoran sustancialmente el conocimiento de este recurso en el Uruguay. En primer lugar, se amplía y robustece la red existente de estaciones de medida continua de irradiancia solar, mejorando sus capacidades y extendiéndola de seis a ocho puntos distribuidos en el territorio nacional y dotándola de nuevas capacidades para medida de radiación difusa y directa. En segundo lugar, se implementa un modelo físico de irradiancia solar que utiliza información satelital para estimar la irradiancia solar a nivel de superficie y se evalúa su desempeño contra medidas de tierra. En tercer lugar, se realiza el primer intento para predecir variaciones de corto plazo (hasta 3 horas) en la irradiancia solar de un punto dado. Esta última componente es de interés en escenarios de alta penetración de generación eléctrica de origen solar en la matriz energética, dado que las variaciones rápidas en nubosidad pueden impactar negativamente en la estabilidad de la red eléctrica. En conjunto, las acciones propuestas mejoran sustancialmente el conocimiento del recurso solar en el Uruguay y contribuyen a generar las condiciones necesarias para recibir inversiones en el área.

La ampliación y fortalecimiento de la red de medida continua de irradiancia solar era impostergable, dado que se contaba con equipos diversos, algunos de ellos artesanales, desplegados en algunos puntos del país y mantenerlos operativos y midiendo en forma confiable demandaba un esfuerzo muy importante. En el marco del proyecto se llevaron adelante un conjunto de acciones tendientes a uniformizar el hardware de medidas, simplificando su mantenimiento y robusteciendo la red en general.

- Se agregaron dos nuevos puntos de medida en las estaciones experimentales del INIA en Tacuarembó (La Magnolia) y Colonia (La Estanzuela). Actualmente, el LES cuenta con medidas de radiación solar de calidad controlada en las cinco estaciones experimentales del INIA.
- Se modificaron los soportes existentes y se instalaron nuevos soportes, corrigiendo problemas de sombreado entre los instrumentos.
- Se instalaron medidas de temperatura del aire en todas las estaciones, basadas en RTD Pt1000 calibradas en el LES.
- Se instalaron medidas redundantes de GHI en todas las estaciones, con radiómetros de tecnología diferentes (piranómetros o fotovoltaicos), lo cual permite un mejor control de calidad de los datos. Ante la falla de un radiómetro se garantiza la continuidad de la serie.
- Se instalaron medidas de irradiancia difusa (DHI) en tres estaciones usando equipos Delta T SPN1 sin partes móviles y medidas de irradiancia sobre plano inclinado (GTI) lo cual permite poner a punto modelos de pasaje de plano horizontal a plano inclinado.
- Se puso en marcha la medida de referencia en el LES, con dos pirheliómetros montados en un sistema de seguimiento SOLYS2, dos piranómetros con ventilador de aire seco (evita rocío y condensación) y un sistema de sombreado sobre uno de ellos para medida de DHI.

- Estándares secundarios en reserva. Se mantiene un piranómetro Kipp & Zonen CMP22 y un pirheliómetro Kipp & Zonen CHP1 calibrados en el World Radiation Center (Davos) como referencias para la calibración bajo norma de los radiómetros de campo.
- Esquema de calibración periódica de los radiómetros de campo. Cada 24 meses los radiómetros son reemplazados por otros calibrados en la plataforma de calibración del LES.

El conjunto de medidas tiene como resultado una red de medidas de mayor calidad, con mayores capacidades, más robusta y más simple de mantener. Las medidas de radiación solar de calidad son el insumo principal para el resto del trabajo de modelado del recurso solar que el LES lleva adelante.

Se trabajó en la implementación de un modelo físico de irradiancia solar en Uruguay, tomando como base el modelo GL 1.2, utilizado en Brasil por el CPTEC [CB04]. Este modelo fue seleccionado por ser relativamente simple de implementar y ofrecer amplias posibilidades de mejora al adaptarlo específicamente para el clima del Uruguay. La comparación inicial a nivel horario contra datos de tierra de seis estaciones muestra un RMSD (desvío cuadrático medio) de aproximadamente 20 % de la media. Este indicador es auspicioso, dado que el modelo presenta mucho margen de mejora y optimización. Por ejemplo, con el modelo optimizado BDJPT (de tipo estadístico) obtenemos un RMSD de 13 % de la media [AA12, AA14].

Se implementaron además tres modelos para estimar irradiancia solar en superficie en condiciones de cielo claro (SOLIS2, ESRA y KASTEN). El modelo Solis2 [In098a] resulta de una parametrización para la solución de las ecuaciones de interacción radiación-atmósfera [Mu04]. Además de variables geométricas, el modelo simplificado usa como insumo únicamente el vapor de agua atmosférico y la profundidad óptica de aerosoles (AOD) a 700 nm. Se utilizó de la Colección 5.1, datos de nivel 3 (el nivel más alto disponible) del satélite MODIS puesta a disposición por la NASA, para promedios diarios de la columna de vapor de agua atmosférica, y al AOD para una longitud de onda de 380 nm y 550 nm. El modelo ESRA [Ri04] fue desarrollado en el marco del Atlas de Radiación Solar Europeo que utiliza la parametrización de la profundidad óptica de Rayleigh propuesta por Kasten [Ka96]. Tiene como parámetro el coeficiente de Turbidez de Linke (TL) para una masa de aire igual a 2 (TL2), además de variables geométricas. El TL depende de la dispersión y absorción atmosférica debida especialmente al vapor de agua y aerosoles y es el parámetro central de este modelo y se utilizó un valor de TL2 genérico obtenido a partir de satélite. Kasten propuso en 1984 [Ka84] un modelo simple para la radiación de cielo claro en el cual las irradiancias se calculan teniendo en cuenta la absorción y difusión a diferentes alturas. Ineichen y Perez [IP02] ajustaron el modelo de Kasten introduciendo una dependencia en la altura local. A partir de esta comparación se ha establecido que el margen de error esperable entre un modelo de cielo claro y los datos de tierra es del orden del 5 %, lo cual es consistente con lo reportado en la literatura internacional para otros climas [In06]. Al comparar los tres modelos contra datos de tierra de cielo claro, es el modelo de Kasten el que tuvo un mejor desempeño. Es interesante notar que los indicadores asociados al promedio de los tres modelos (es decir, estimar GHI a partir del promedio de GHI de los tres modelos) es el que presenta mejores indicadores, disminuyendo el sesgo a menos de 1,4 % y el RMSD a 3.7 %. En este caso, la tendencia a la sobre estimación del ESRA es parcialmente compensada por KASTEN y SOLIS. El parámetro TL2 de ESRA puede ajustarse localmente a cada estación (representa la turbidez

media de la atmósfera) y seguramente, esto mejoraría considerablemente los indicadores del modelo ESRA, que tiene la ventaja de no usar datos de satélite.

Uno de los métodos usados para la predicción de variables meteorológicas se basa en redes neurales. En este proyecto se estudió la posibilidad de predicción de irradiancia solar GHI usando redes neuronales, para lo cual se implementó una red neural con una capa oculta, usando backpropagation como método de entrenamiento. Se trabajó sobre datos reales horarios de GHI para predecir GHI sobre la estación LB (Las Brujas) y se utilizó validación cruzada para evaluar el modelo. Las entradas a la red son $kt(t)$ (índice de claridad horario), $Ta(t)$ (temperatura ambiente promedio en la hora), $Dv(t)$ (dirección del viento promedio en la hora) y DOY (día del año) para cubrir efectos estacionales residuales. Se obtienen RMS en el entorno de 23 a 25 % para predicción horaria de irradiación global horizontal basado en datos previos de sitios cercanos. La temperatura ambiente y el día del año son las variables de entrada más relevantes.

Referencias

- [AA12] R. Alonso, G. Abal, R. Siri, P. Musé, Brightness-dependent Tarpley model for global solar radiation estimation using GOES satellite images: Application to Uruguay, *Solar Energy* (2012) 86:3205–3215;
- [AA14] R. Alonso, G. Abal, R. Siri, P. Musé, Satellite-derived solar irradiation map for Uruguay, *Energy Procedia* (2014) 57:1237-1246.
- [CB04] Ceballos, J. C. A simplified physical model for assessing solar radiation over Brazil using GOES 8 visible imagery. *Journal of Geophysical Research*, (2004) 109(D2):D02211.
- [Ho76] Hottel, H.C., 1976. A Simple Model for Estimating the Transmittance of Direct Solar Radiation through Clear Atmospheres 18, 129–134.
- [In06] Ineichen, P. (2006). Comparison of eight clear sky broadband models against 16 independent data banks. *Solar Energy*, 80:468–478.
- [In08a] Ineichen, P., 2008a. A broadband simplified version of the Solis clear sky model. *Solar Energy* (2008) 82, 758–762. doi:10.1016/j.solener.2008.02.009
- [In08b] Ineichen, P. (2008b). Conversion function between the Linke turbidity and the atmospheric water vapor and aerosol content. *Solar Energy*, 82(11):1095–1097.
- [IP02] Ineichen, P. and Perez, R. (2002). A new airmass independent formulation for the Linke turbidity coefficient. *Solar Energy*, 73:151–157.
- [Ka96] Kasten, F.. The linke turbidity factor based on improved values of the integral Rayleigh optical thickness. (1996) *Solar Energy*, 56(3):239–244.
- [Mu04] Mueller, R. (2004). Rethinking satellite-based solar irradiance modellingThe SOLIS clear-sky module. *Remote Sensing of Environment*, 91(2):160–174.
- [Ri04] Rigollier, C., Bauer, O., Wald, L. On the clear sky model of the ESRA — European Solar Radiation Atlas — with respect to the heliosat method. *Solar Energy* (2004) 68, 33–48.

Responsable Técnico: Gonzalo Abal

Equipo Técnico: R. Alonso Suárez, R. Siri, A. Laguarda, D. Aicardi, L. Dovat
Laboratorio de Energía Solar, Instituto de Física, Facultad de Ingeniería

Desarrollo y evaluación de nuevos compuestos cromóforos capaces de actuar como antena en celdas solares de pigmento fotosensibles

Proyecto ANII - FSE - 2011 - 6156

Disponer de energía a bajo costo es una variable esencial para lograr un desarrollo socio-económico sostenido en países de economías emergentes como lo es Uruguay. Una buena estrategia a tales efectos implica impulsar más agresivamente la diversificación de la matriz energética. Las energías renovables —que se presentan como una fuente de energía limpia y sustentable— han representado una alternativa importante al abastecimiento energético a partir de recursos fósiles. Entre ellas, las denominadas tecnologías fotovoltaicas (que generan electricidad a partir de la radiación solar) han despertado un creciente interés en los últimos tiempos. A la hora de ser tenidas en cuenta como una solución real a la diversificación energética nacional, la fuente de energía solar se ha topado con la dificultad (no menor) de los altos costos asociados a los paneles solares. Esta tecnología, que está basado en uniones al estado sólido (usualmente de silicio), ha sido desafiada recientemente por la tecnología de las denominadas celdas solares sensibilizadas por colorante (Dye Sensitised Solar Cells, DSSC, o celdas de Grätzel). Estas celdas ofrecen la enorme ventaja de presentar bajos costos de producción y muestran al mismo tiempo, una serie de características interesantes que dan lugar a un potencial muy importante para un ingreso exitoso y consolidado en el mercado de las energías renovables a mediano plazo.

A partir de esta introducción general, el proyecto propuso el desarrollo de nuevas celdas DSSC. Si bien estas se conocen desde hace años, el foco de la propuesta fue puesto en obtener un producto nacional a un costo razonable operando con una buena eficiencia. La capacidad de ensamblado de celdas solares DSSC operativas a nivel regional en general y nivel nacional en particular, sigue siendo muy escasa. Como objetivo importante se planteó también la posibilidad de consolidar la experiencia de los grupos de investigación involucrados en la temática energética estudiada. Por último y no menos importante, la generación de recursos humanos se incluyó como un muy importante valor agregado al proyecto, recursos humanos que resultarían sumamente valiosos en una área de investigación interdisciplinaria muy importante y actual.

El proyecto, como propuesta interdisciplinaria, contó con la participación de investigadores del Departamento de Biomateriales (Facultad de Ciencias) liderados por la Dra. Fernanda Cerdá y de investigadores del área de Química Teórica (Dr. Pablo Denis y Dr. Jorge Gancheff, Facultad de Química) y del área de Química Inorgánica (liderados por el Dr. Jorge Gancheff, Facultad de Química).

El trabajo en conjunto en el proyecto resultó ser una experiencia interdisciplinaria sumamente rica, experiencia que permitió obtener tanto resultados teóricos como experimentales. Desde el punto de vista experimental, se logró una de las contribuciones más relevantes: el desarrollo de una metodología que permitió el ensamblado de una celda DSSC operativa. Si bien no se pudo lograr una eficiencia de conversión energética del 7 % (objetivo final del proyecto), la experiencia adquirida posibilitó (y lo seguirá haciendo) sortear el enorme problema que implica el armado de una celda DSSC operativa. A pesar de que se conocen una serie de protocolos para su ensamble, la obtención de un dispositivo que realmente funcione implica una serie de detalles que generalmente no son de público conocimiento. En nuestro caso, el problema de ensamble pudo ser resuelto gracias al contacto entablado por la Dra. Fernanda Cerdá con el Prof. Dr. Michael

Grätzel (Laboratorio de Fotónica e Interfases, Lausanne, Suiza), inventor de las celdas (que de hecho llevan su nombre). La mencionada contribución tuvo y tiene mucha importancia si se tiene en cuenta que el grupo de investigación liderado por la Dra. Cerdá es uno de los pocos grupos a nivel local y regional en condiciones de obtener una celda operativa y el único (hasta donde sabe el responsable de este proyecto), que mantuvo y mantiene una colaboración científica con el Prof. Grätzel.

Otra contribución muy importante del proyecto fue la creación de una nueva línea de investigación en Química Inorgánica en la Facultad de Química. Esta línea de investigación ha despertado el interés de nuevos estudiantes que han visto en la misma, una oportunidad única de formarse en un área de oportunidad muy interesante caracterizada por un grado de interdisciplinariedad bien importante. Esta línea de investigación, que apunta a la síntesis de compuestos potenciales antena en celdas de Grätzel (compuestos de coordinación de Ru(II), tiene la particularidad de incorporar la vía de síntesis asistida por microondas como una herramienta sintética de rutina. Cabe destacar que en Uruguay no hay otro grupo de investigación que haga uso de la mencionada técnica sintética en Química Inorgánica, lo cual permitió y permitirá que este grupo genere las bases para representar un referente a nivel local y también regional.

Desde el punto de vista teórico, la atención del proyecto estuvo centrada en la predicción del comportamiento fotofísico (absorción y emisión de la luz visible) de los pigmentos sintéticos tanto aislados como en un entorno lo más similar posible al que existe en una celda operativa. Si bien se tuvo éxito en el estudio de algunos pigmentos aislados, el modelado en las otras condiciones (cromóforos unidos a un semiconductor) implicó algunas dificultades que aún no se han podido resolver, problemas devenidos de los altísimos costos computacionales asociados. De todas maneras, es de destacar el hecho de que el proyecto permitió generar la experiencia necesaria para estudiar sistemas que involucran estados excitados en la presencia del disolvente, sistemas por demás complejos.

La formación de nuevos recursos humanos ha sido también un resultado muy importante del proyecto. En ese sentido, es de destacar la formación adquirida por la Bach. Enciso, responsable del ensamblado de las celdas DSSC y de su caracterización electroquímica (bajo la supervisión de la Dra. María Fernanda Cerdá). Por otro lado, la preparación de nuevos cromóforos ha permitido consolidar la experiencia de la Bach. Florencia Luzardo en los aspectos sintéticos y de caracterización. A su vez, el uso de la vía de síntesis asistida por microondas ha permitido la incorporación de la Bach. Karolina Soca al grupo de investigación en Química Inorgánica. Esta joven estudiante ha manifestado su interés en permanecer vinculada al grupo para llevar a cabo estudios de doctorado.

La serie de resultados obtenidos en el desarrollo de esta propuesta de investigación han contribuido tanto al fortalecimiento de las colaboraciones científicas nacionales existentes, como a la generación de una nueva y muy importante colaboración internacional y al desarrollo de la experiencia necesaria para ensamblar y estudiar celdas DSSC desde un punto de vista teórico y experimental. Estos resultados permitieron también la participación en una serie de instancias de divulgación científica tanto a nivel internacional como nacional. En el primer caso, se participó del Simposio Latinoamericano de Química de Coordinación y Organometálica (SILQCOM-POLYMAT, 2013) llevado a cabo en la ciudad de Huatulco (México). A su vez, el responsable del

proyecto disertó como Profesor Invitado en el Instituto de Física de San Carlos de la Universidad de San Pablo (Brasil) y en el encuentro “Humboldt Kolleg”, organizado por la Asociación Humboldt Alumni Brasil (Campos do Jordao, Brasil). A nivel nacional, se realizaron tareas de divulgación en el marco de la Semana de la Ciencia y la Tecnología en el pasado mes de mayo. Es de destacar que esta actividad resultó ser muy rica pues permitió poner en contacto a estudiantes de secundaria y público en general con las diferentes temáticas estudiadas en este proyecto.

Finalmente, es importante mencionar que los resultados obtenidos de los estudios con el pigmento natural han formado parte de una publicación científica. A su vez, los resultados de los estudios con pigmentos sintéticos formarán parte de dos artículos científicos que se enviarán a publicar en revistas internacionales antes de fin de año.

Responsable Técnico: Jorge Gancheff

Equipo Técnico: investigadores del Departamento de Biomateriales (Facultad de Ciencias - Udelar)¹, investigadores del área de Química Teórica (Facultad de Química - Udelar)² y del área de Química Inorgánica (Facultad de Química - Udelar)³

¹ Liderados por Fernanda Cerdá.

² Compuesto por Pablo Denis y Jorge Gancheff.

³ Liderados por Jorge Gancheff.

Aplicando know-how nacional en celdas solares híbridas polimérico-inorgánicas

Proyecto ANII - FSE - 2011 - 6771

El desarrollo de celdas solares fotovoltaicas está particularmente ligado al desarrollo de los materiales con que se las fabrica. Hasta hace poco, se separaban “generaciones” siguiendo los hitos históricos, pero hoy día se ha diversificado tanto el tipo de celda que se las especifica por su material o sus materiales activos específicos. Así se tienen celdas de silicio monocristalino, de silicio policristalino o amorfo, de films policristalinos de semiconductores compuestos como telururo de cadmio, de materiales orgánicos por ejemplo polímeros, o híbridas con materiales orgánicos e inorgánicos, en especial nanoestructurados. Entre los materiales y las tecnologías emergentes se encuentran las celdas solares híbridas polimérico-inorgánicas, en las que los fotones son absorbidos por el polímero y por las nanopartículas inorgánicas, generando excitones que difunden a la interfase donador (polímero)-aceptor (nanopartículas inorgánicas) y se disocian en electrones y huecos. Estos se transportan a través de donador y de aceptador hacia el correspondiente electrodo, donde son colectados. El hecho de que ambos componentes absorban la luz, en especial si se combinan tales que eso amplíe el rango de longitudes de onda de la luz absorbida, permite tener una mayor absorción y por tanto eficiencia de conversión de energía. El centro del desarrollo de estas celdas es encontrar la combinación polímero-nanoestructuras inorgánicas que de mejores parámetros. Para ello deben tenerse en cuenta factores como los niveles energéticos y las energías de banda prohibida de polímero y compuesto inorgánico (que varía en función de su tamaño, pues a escala nano los niveles se modifican con el tamaño), la morfología de ambos, la química de superficie y los ligandos utilizados para las nanoestructuras, la estructura de la capa activa, los potenciales de los electrodos, etc. Como las celdas híbridas utilizan compuestos de alto coeficiente de absorción de la luz, se usan en general films finos que permiten un producto de bajo peso y alta flexibilidad mecánica, compatible con sustratos plásticos o de vidrio, fácilmente transportables, y pueden ser enrolladas o pintadas con diferentes colores y diseños sobre paredes y ventanas de edificios o diversos productos. Esto hace a estas celdas muy promisorias para lograr buenas eficiencias y prestaciones singulares, y las ubica como uno de los campos de mayor investigación en los ejes energía-ambiente a nivel mundial.

El objetivo general del Proyecto fue desarrollar celdas solares híbridas orgánico-inorgánicas de área 1 cm^2 y eficiencia de conversión de potencia mínima de 1 %. En su ejecución, desarrolló celdas solares polimérico-inorgánicas sintetizando y caracterizando mezclas polímero poli(3-hexiltiofeno) (P3HT) donador con nanocristales de sulfuro de mercurio como aceptador, construyendo con ellas celdas solares híbridas y caracterizándolas en sus parámetros relevantes.

A los efectos de realizar el Proyecto se llevó a cabo un importante trabajo de instalación y puesta en marcha de infraestructura: utilizando fondos del Proyecto y de otras fuentes se instaló el spin coater Laurell Technologies, WS-650Hz-23NPP-UD-3, el simulador solar Abet Technologies SUN 3000, clase AAA con SMU Keithley-ABET 2410 y el sistema de medida de eficiencia cuántica de celdas solares QE- Oriel IQE-AC-QTH-SI-220, y se diseñó y construyó una “cámara de guantes” de atmósfera controlada (anexada a un generador de nitrógeno gaseoso) y radiaciones controladas (infrarojo, ultravioleta) para la preparación de las celdas. Se avanzó también en la instalación y puesta en marcha de infraestructura para caracterización de los materiales obtenidos en la

preparación de las celdas (nanopartículas, capas de polímero, capas activas, depósitos de metales). Así, ahora se puede caracterizar nanopartículas y capas por espectrofotometría UV-Vis-IR, XRD, AFM y por HR-TEM, SAED y EDS. Las celdas construidas pueden caracterizarse en todos los parámetros necesarios (curvas densidad de corriente-voltaje, voltaje en circuito abierto, densidad de corriente en cortocircuito, factor de llenado, eficiencia cuántica externa (EQE)). Si bien la instalación y puesta en marcha de toda esta infraestructura llevó más tiempo de lo deseado, los equipos están ahora en correcto funcionamiento.

Para llegar a las celdas se sintetizaron nanocristales de β -HgS por el método hidrotérmico, con polivinilpirrolidona (PVP) o hexadecanotiol (HDT) como capping agents, que dieron mayor uniformidad de tamaño (de 20 a 160 nm) y morfología circular. Los nanocristales se caracterizaron por SEM, HR-TEM, EDS, SAED, XRD, espectrofotometría UV-vis e IR. Los nanocristales de sulfuro de mercurio de tamaño y morfología más uniforme se mezclaron con P3HT regiorregular como donador de electrones a fin de formar una capa activa, por ultrasonido y a veces con annealing. La capa activa se caracterizó por AFM y espectrofotometría UV-visible. No se lograron cambios significativos en el espectro de absorción de la capa activa respecto a los de polímero o las nanopartículas, lo cual, junto con las imágenes de AFM, lleva a inferir que no se produjo una formación clara de la capa activa.

Independientemente de ello se puso a punto la técnica completa de construcción de celdas solares híbridas. Sobre sustratos con Indium Tin Oxide (ITO) como electrodo conductor transparente, se realizó remoción de ITO para obtener el patrón de sustrato, y luego se depositó la capa de poli etilendioxitiofeno dopado con poli estiren ácido sulfónico (PEDOT:PSS) como interfase receptora de huecos por spin coating con dispensado manual, por métodos de dispensación dinámico y estático. Sobre el PEDOT:PSS se depositó la capa activa por spin coating con dispensado manual para mezclas de HgS-HDT:P3HT en cloroformo en distintas proporciones NPs:P3HT por métodos de dispensación dinámico y estático. Sobre la capa activa se depositó el cátodo metálico de Pd y se encapsularon las celdas con cola epoxi de curado UV y un vidrio cubreobjeto cortado al tamaño deseado.

Previo a la caracterización eléctrica de las celdas obtenidas se verificó el correcto funcionamiento del equipamiento instalado, caracterizando la celda de referencia de Silicio Abet Technologies Inc. RR-219-O y la celda orgánica PCDTBT:PC70BM (Kroto Innovation Centre, Sheffield, Inglaterra), de características más similares a las construidas. Las celdas fueron chequeadas por sus curvas densidad de corriente oscura-voltaje, y, bajo iluminación del espectro AM1.5 (1000W/m^2) a 25 °C, IEC 60904-3: 2008 ASTM G-173-03 global, se determinó su voltaje en circuito abierto, densidad de corriente en cortocircuito, factor de llenado, potencia máxima, eficiencia cuántica interna (IQE) y externa (EQE) y de conversión de potencia (PCE)). Las celdas construidas fueron chequeadas en sus curvas densidad de corriente oscura-voltaje. La caracterización eléctrica de las celdas resultó satisfactoria para las celdas convencionales (indicando la correcta puesta en marcha del equipamiento), pero dio un comportamiento óhmico para los dispositivos construidos, indicando un proceso de elaboración de celda correcto pero corroborando los resultados de caracterización previos en cuanto a la no formación de una real capa activa.

De lo realizado surgen varios trabajos futuros, tales como la optimización de las etapas de construcción de las celdas y el buscar diferentes materiales para ellas. Es así que puede utilizarse ITO pero también FTO para el contacto conductor, diferentes polímeros para la capa activa, con diferentes proporciones de HgS:P3HT y concentraciones de HgS, nanocristales de otros semiconductores compuestos como PbS, ZnS, HgI₂ y BiI₃, sintetizados con otros ligandos como piridina. También se explorarán celdas híbridas con capa activa metilamonio-yoduro de plomo (“perovskitas”) sintetizado por deposición química de vapor como film cristalino, o por spin coating, como interfase receptora de electrones C70-PCBM, y para el cátodo superior diferentes metales como Au o Al, con o sin LiF.

En el Proyecto se avanzó también en la formación de recursos humanos, con asistencia a cursos y congresos, y realización del postgrado “Desarrollo de celdas solares híbridas polimérico-inorgánicas” (con beca ANII), actualmente en etapa de doctorado. Los resultados obtenidos se presentaron en diferentes congresos, por ahora regionales.

Aplicando la infraestructura, la experiencia y los resultados en síntesis y caracterización de nanopartículas, y en preparación y caracterización de celdas solares híbridas, la realización del Proyecto permite poder enfrentar nuevas etapas y desafíos, buscando la combinación de materiales más adecuada para las distintas partes que componen las celdas, a fin de llegar a la mayor eficiencia posible.

Responsable Técnico: Laura Fornaro

Departamento de Desarrollo Tecnológico, Centro Universitario Regional del Este (CURE)

Eólica urbana

Proyecto ANII - FSE - 2011 - 6674

La Energía Eólica presenta la posibilidad de ser explotada a diversas escalas, así como en diversos sitios dada su distribución espacial tanto en superficie como en vertical. El proyecto que se aquí se presenta busca realizar una exploración sobre la viabilidad que tendría explotar el recurso eólico a nivel de micro generación, es decir aplicaciones de escala residencial, en un ambiente urbano.

En el proyecto se planteó como caso de estudio la ciudad de Montevideo. Dado que en una ciudad existen diversos paisajes urbanos, se realizó una primera caracterización de la ciudad identificando diversos tipologías constructivas así como diversas tipologías de entornos. En esta caracterización se identificaron tres tipos de entornos, los cuales resultaron uniformes, y que se clasificaron en base a la intensidad de consumo de recursos, lo cual, desde el punto de vista poblacional, estaría vinculado a una mayor o menor densidad de población. De esta manera se consideraron tres tipos de entornos denominados de ALTA DENSIDAD, DENSIDAD MEDIA y BAJA DENSIDAD. Como ejemplos de cada una de estas tipologías se seleccionaron respectivamente una zona del barrio Pocitos, una zona del barrio Peñarol y una zona del barrio Prado.

A partir de estas tipologías se diseñaron y construyeron modelos físicos de tanto de las zonas específicas (una manzana en cada caso) de cada barrio antes mencionado, así como de sus entornos con el objeto de conducir ensayos en el túnel de viento de la Facultad de Ingeniería. Entre los modelos se incluyó el edificio de la misma Facultad donde se instaló un banco de pruebas de aerogeneradores.

Estos ensayos tuvieron por objeto caracterizar el efecto que tendrían las edificaciones sobre el viento para diferentes alturas sobre las mismas. Esta caracterización implica conocer el valor de la velocidad del viento sobre los edificios, respecto a un valor de velocidad de viento de referencia, lo cual permitiría saber la energía disponible en cada sitio seleccionado. Asimismo, se busca caracterizar el nivel de turbulencia que se tendría en cada sitio así como las dimensiones de los vórtices que fluirían con el viento. Esto resulta relevante para conocer las solicitaciones mecánicas a las cuales estarían sometidos los aerogeneradores instalados, así como la forma en que se vería afectada la energía disponible en cada sitio. Los sitios de medición seleccionaron a alturas tales que la instalación del aerogenerador fuera viable y de manera de conocer el efecto del propio edificio así como del entorno que lo rodea.

Como parte del trabajo se desarrolló un modelo numérico orientado al estudio de la viabilidad y factibilidad del uso de la energía eólica en ambientes urbanos. Para ello se definieron, en base a información manejada por la UTE, curvas de consumo horario de viviendas con diferentes niveles de consumos mensuales de energía eléctrica. En el modelo se incorporaron datos de viento a una altura de referencia, los factores que vinculan esa velocidad con la velocidad del viento sobre los edificios, las curvas de consumo horario antes mencionado, las curvas características de diversos aerogeneradores, los precios de instalación de los mismos y los esquemas tarifarios disponibles para usuarios residenciales en Uruguay. Utilizando este modelo se analizaron las condiciones en las cuales se podría hacer factible el uso de la energía eólica en ambientes urbanos. Si bien, podría ser viable el uso de aerogeneradores de eje vertical, los niveles de

inversión actuales lo hacen poco factible, debiéndose orientar investigaciones futuras en el desarrollo de tecnologías apropiadas.

Como parte de este proyecto se diseñó e instaló un banco de prueba de aerogeneradores que operarían en ambientes urbanos. Para ello se seleccionó un sitio en la Facultad de Ingeniería que estaría expuesto, una elevada proporción del tiempo a viento proveniente de una zona urbana, lo cual aseguraría exponer al aerogenerador ensayado a un flujo con elevado nivel de turbulencia. Asimismo, el sitio verifica que el aerogenerador estará expuesto a vientos asociados a eventos extremos. Esta instalación presenta equipamiento que permitiría medir el viento disponible, evaluar el nivel de turbulencia, medir la potencia generada y evaluar la calidad del servicio. Se prevé que en futuro se incorpore la medición de vibraciones y de ruido acústico.

Entre las actividades del proyecto se llevó acabo un concurso de ideas entre estudiantes de Arquitectura con el objeto de proponer alternativas de inclusión de aerogeneradores en nuevas edificaciones. Entre las ideas propuestas se destacaron las que manejaron el concepto del aerogenerador embebido en la edificación lo cual implicó la posibilidad de utilizar los campos de presiones que se generan alrededor de un edificio o bien las zonas de contracción del flujo con el objeto de disponer de elevados contenidos de energía.

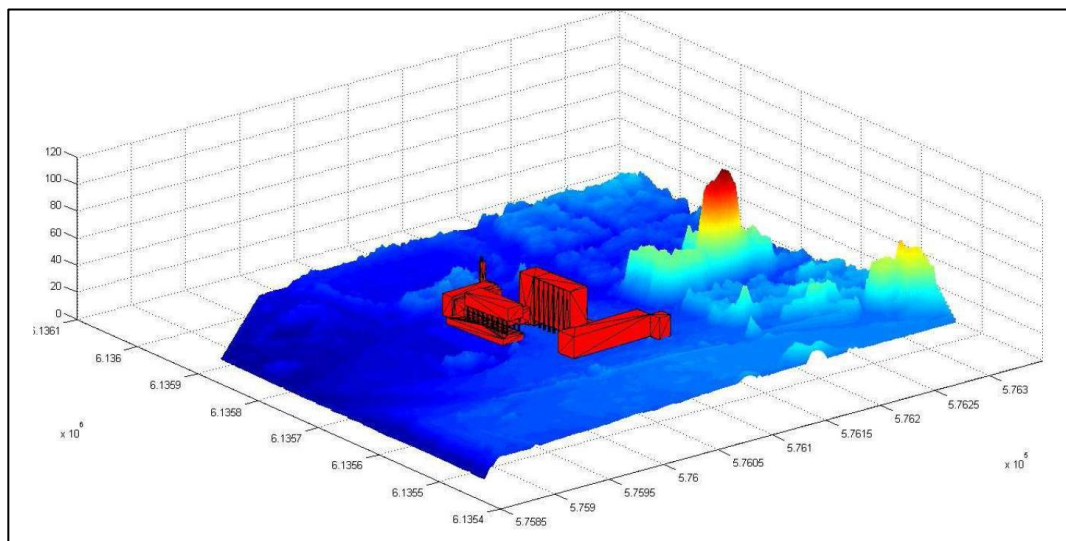
Responsable Técnico: José Alberto Cataldo

e-olos Urbis: Micrositting Computacional de Aprovechamientos Eólicos en la Ciudad de Montevideo

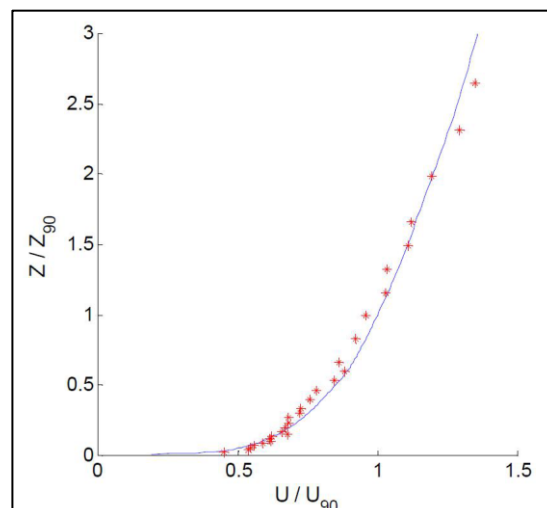
Proyecto ANII - FSE - 2011 - 6015

El proyecto “e-olos Urbis” tuvo como objetivo principal desarrollar herramientas para la realización de estudios preliminares de micrositing en aprovechamientos eólicos en la ciudad de Montevideo.

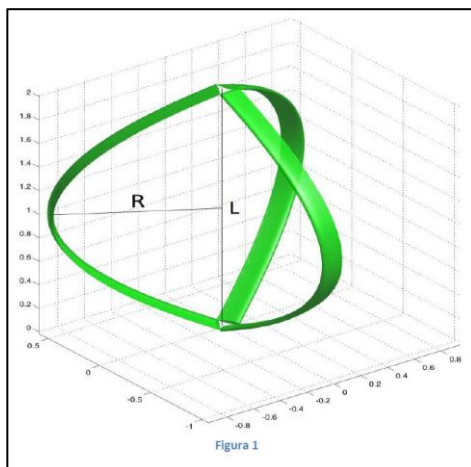
Tomando como base el modelo numérico de flujos tridimensionales *caffa3d.MBri*, desarrollado en el IMFIA de la Facultad de Ingeniería – Udelar, se implementó un modelo del flujo de viento alrededor de edificios tomando en cuenta el entorno edificado. La siguiente figura muestra una vista parcial de la ubicación del edificio de la Facultad de Ingeniería y su entorno.



Se desarrolló en este marco una metodología para reproducir numéricamente ensayos en túnel de viento, a partir del uso del método de condiciones borde immersas para incorporar los elementos de modelación de la capa límite atmosférica. La siguiente figura muestra una comparación de los resultados obtenidos en el modelo con medidas experimentales para un terreno tipo urbano.



Asimismo se desarrolló un modelo paramétrico de aerogeneradores de eje vertical mediante la implementación de un toolbox Matlab del método de elementos de pala. La siguiente figura muestra una representación geométrica de uno de los modelos de aerogenerador considerado.



El conjunto de herramientas de software desarrollado en el proyecto ha sido registrado y se encuentra disponible para su uso libre. Constituye un set de herramientas de apoyo al estudio preliminar y desarrollo de emprendimientos eólicos urbanos.

Responsable Técnico: Gabriel Usera

Aplicación de herramientas de computación alto desempeño, de técnicas 4Dvar (asimilación de datos) y de post procesamiento estadístico a la predicción de la Generación de energía Eléctrica de origen eólico

Proyecto ANII - FSE - 2011 - 6562

En el proyecto del FSE precedente a este, se implementó un sistema de predicciones de potencia eólica operativo, con horizontes de pronósticos entre 12 y 132 horas (es decir, hasta 5 días útiles). En un convenio con UTE, este sistema se extiende a todos los parques eólicos que se han instalado o se instalarán en los próximos dos años en el país.

Se encontró buena calidad de pronósticos, tanto en horas diurnas como nocturnas, excepto en meses de verano (de diciembre a marzo inclusive), con buena calidad de pronósticos durante el día, pero no durante la noche.

En el presente proyecto se mejoró el sistema de predicciones, mediante los siguientes desarrollos:

- Se enriquecieron las condiciones iniciales del modelo numérico utilizado, asimilando observaciones locales, de la red de anemómetros instalada por UTE-DNE, en momentos inmediatamente previos al inicio de las simulaciones. Se encuentra una importante mejora de los pronósticos durante las noches de verano, si se asimilan las observaciones a las 19:00, hora local. También se logran mejoras, en plazos algo menores (tres horas), asimilando en la corrección empírica implementada para los pronósticos observaciones de potencia inmediatamente previas al período pronosticado.
- Se estableció que mediante una técnica de análogos, se puede estimar los intervalos de confianza de las predicciones para las noches de verano, con mayor precisión, esto es una anticipación de unas doce horas al comienzo del período de interés. Se clasifican los pronósticos según regímenes de circulación mediante análisis de clusters (agrupaciones por similitud), hallándose dos regímenes de intervalos de confianza relativamente estrechos, y uno con margen de error superior al promedio anteriormente establecido.
- Se estudió el impacto del aumento de la resolución en las simulaciones, encontrándose que los efectos más favorables de esto se obtienen en la predicción de eventos de “cut-out” por ráfagas.
- A los efectos de potenciar las implementaciones prácticas de las simulaciones, se optimizaron las estrategias de computación de alto desempeño aplicadas a las simulaciones, y se implementaron módulos del modelo numérico (WRF, de NCAR, EEUU), en sistemas de GPU.
- Se lograron importantes correcciones en aspectos relativamente débiles hallados en la etapa anterior, se logró mejorar la capacidad de predicción de eventos de cut-out, Estas mejoras se han implementado en el sistema actualmente operativo. Se lograron mejoras en computación de alto desempeño e implementaciones de GPU que corresponden al estado del arte internacional, encontrándose importantes perspectivas de aumentar significativamente el desempeño computacional con relativamente bajos costos de inversión mediante el uso de GPU.

Responsable Técnico: Gabriel Cazes Boezio

Equipo Técnico: Franco Robledo

Previsión de niveles en el río Yi con base en información hidrológica en tiempo real y pronósticos meteorológicos

Proyecto ANII - FSE - 2011 - 6641

Se desarrolló e implementó un modelo de pronóstico hidrológico-hidrodinámico de niveles y caudales del río Yí para operación continua, para evaluar volúmenes de agua aportados por esta cuenca a la represa de Constitución. Se consideró como base el modelo hidrológico-hidrodinámico de eventos extremos desarrollado en el proyecto PROHIMET. Desde el punto de vista hidrológico, se implementaron varios modelos de paso extendido basados en el método del Número de Curva (USDA, 2010), seleccionándose el modelo de Geetha (Geetha et al, 2008) como el más adecuado, considerando el análisis de los datos observados.

Adicionalmente se avanzó significativamente en la optimización del pronóstico atmosférico. Los resultados han sido muy alentadores en términos generales (evaluaciones de algunos o años), lo que habilita su extensión a otras cuencas del sistema. No obstante, para determinados eventos puntuales relevantes, existen algunas incertidumbres en la respuesta hidrológica de la cuenca; lo que motiva seguir profundizando.

Responsable Técnico: Gabriel Cazes Boezio

Equipo Técnico: Franco Robledo

Biocombustibles

Ingeniería metabólica para la producción de biocombustibles isoprenoides

Proyecto ANII - FSE - 2011 - 6068

La dependencia económica que implica la compra de petróleo para la matriz energética del Uruguay sumado a la necesidad de reducir las emisiones de dióxido de carbono ha promovido el desarrollo de biocombustibles renovables alternativos como el bioetanol. Los cultivos utilizados como materia prima para la producción de bioetanol consumen grandes cantidades de agua, fertilizantes y pesticidas que afectan negativamente el ambiente. Los residuos lignocelulósicos constituyen un material de partida más económico aunque el proceso de degradación a azúcares es difícil y costoso. Por otro lado, el etanol no es un combustible ideal ya que tiene bajo contenido energético, es higroscópico y corrosivo para las infraestructuras actuales de almacenamiento y distribución. En la búsqueda de biocombustibles de avanzada con alto contenido energético y propiedades fisicoquímicas similares a los combustibles derivados del petróleo se han propuesto los compuestos de naturaleza isoprenoide, producidos a partir de enzimas de origen vegetal en organismos como *Escherichia coli* o *Saccharomyces cerevisiae*.

En este proyecto logramos sobreproducir una enzima propia de *S. cerevisiae* en un contexto genético mutante con capacidad para generar niveles de isoprenoides del orden de mg/L. Se ensayaron diferentes condiciones de cultivo para lograr aumentar tanto los niveles de isoprenoides como los niveles de alcoholes superiores en el medio, ya que esta mezcla representa un fenómeno de eficiencia a través de su mayor calidad combustible. También ensayamos un sistema de extracción continua de isoprenoides utilizando dodecano que facilitaría la extracción y concentración a escala industrial. En los ensayos realizados en ANCAP utilizando mezclas sintéticas manteniendo las proporciones de los compuestos principales (isoprenoides y alcoholes o sus respectivos productos hidrogenados) obtenidos en *S. cerevisiae* vemos que en ningún caso la gasolina o el gas oil se salen de especificaciones por el agregado de nuestros aditivos. Los resultados de este proyecto sentarán las bases de un programa multidisciplinario de ingeniería metabólica de *S. cerevisiae* para la producción renovable de aditivos de combustibles y/o sustratos para industrias de fragancias, cosméticos, medicamentos o polímeros.

Responsable Técnico: Carina Gaggero

Desarrollo de una cepa de *Escherichia coli* especializada en la producción de bioetanol a partir del glicerol excedente de la producción de biodiesel

Proyecto ANII - FSE - 2011 - 6383

El objetivo general de este proyecto fue la obtención y caracterización de clones metagenómicos que potencien la producción de etanol de *Escherichia coli* usando glicerina cruda excedente de la producción de biodiesel por parte de ALUR.

Previamente se construyeron dos librerías metagenómicas a partir de contenido ruminal y el contenido de un reactor anaerobio para el tratamiento de efluentes industriales. Se obtuvieron aproximadamente 25.000 y 100.000 clones de 40Kb en promedio cada uno, respectivamente. Dos cepas de *E. coli* etanológicas (LY180 y MS04) fueron obtenidas gracias a la colaboración con grupos de investigación de Estados Unidos y México y fueron utilizadas en este proyecto.

Debido a que la “glicerina cruda” tiene un pH muy alcalino, su utilización como fuente de carbono en los medios mínimos típicos resultaba en la formación de un precipitado de diversas sales y jabones. Se estableció que era necesario neutralizar una solución 50% de glicerina ALUR con aproximadamente 1% de ácido sulfúrico concentrado. Hoy día un proceso similar ya es realizado por ALUR y se lo conoce como “splitting” de la glicerina. Esta glicerina neutralizada se añade al medio base M9 en una concentración final de 4% (v/v).

Las dos metagenotecas previamente construidas en el laboratorio fueron sometidas a un “screening” de crecimiento en medio sólido suplementado con glicerina sin pre-tratar y los clones que mostraron mayor tasa de crecimiento luego de 16 horas de incubación a 30°C fueron seleccionados. Para verificar que el fenotipo observado en placa se correlacionaba con una mejor utilización de la glicerina como fuente de carbono, se realizaron curvas de crecimiento en medio líquido mínimo con glicerina neutralizada como única fuente de carbono.

Otra estrategia realizada para aumentar las probabilidades de encontrar los fósidos deseados, fue someter a todos los clones que componen la metagenoteca construida a partir de lodos de reactores anaerobios a un proceso de enriquecimiento previo a la selección. Este enriquecimiento consistió en realizar 4 pasajes sucesivos al conjunto de los clones en medio mínimo con glicerina neutralizada como única fuente de carbono. Luego de este enriquecimiento previo se aplicó la estrategia de selección propuesta originalmente.

Los clones seleccionados mediante estas estrategias fueron transferidos a la cepa etanológica LY180 y se determinó la producción de etanol a partir de glicerina cruda luego de 24 horas de incubación a 37°C en condiciones microaerófilas.

Los resultados obtenidos mostraron que, tanto en las curvas de crecimiento como en las de producción de etanol, el fósido denominado G1 demostró ser el mejor candidato potenciando en casi 40% la producción de etanol por lo que el resto de los estudios se focalizaron en él.

El fósido G1 fue secuenciado en su totalidad mediante Ion Torrent y sometido a mutagénesis in vitro. Los mutantes obtenidos fueron evaluados en placas de Petri con medio mínimo con

glicerina como única fuente de carbono. Con el fin de identificar los genes responsables del fenotipo observado para G1, los clones con menor crecimiento fueron seleccionados.

27 ORFs fueron identificados en la secuencia completa de G1. Los mutantes seleccionados y secuenciados mostraron que uno de ellos, denominado preliminarmente 21400, es el principal responsable del mejor crecimiento desarrollado por *E.coli* en glicerina neutralizada. La secuencia de aminoácidos del ORF 21400 presenta homología (e-value 5×10^{-28}) con una proteína hipotética PRU_1480, perteneciente a *Prevotella ruminicola* 23, compuesta por 518 aa (YP_003574785.1 GI: 294674169). Además, presenta un posible péptido señal comprendido entre los primeros 20 aminoácidos que sugiere una proteína de secreción o, al menos, asociada a la membrana. Por lo tanto, se buscaron dominios transmembrana utilizando el servidor TMHMM Server v. 2.0. Los resultados mostraron la posible presencia de un motivo transmembrana compuesto por varias hélices alfa. Con el objetivo de detectar motivos conocidos en esta proteína se utilizó la herramienta ScanProsite. De este análisis resultó un posible sitio de unión de lípidos a la altura de la Cys23. Luego de la excisión del péptido señal, este aminoácido podría modificarse para convertirse en una N-palmitoil-cisteína o en una S-diacilglicerol-cisteína. Estos resultados sugieren que ORF 21400 codifica para una proteína exportada hacia el espacio periplásmico pero que permanece anclada a la membrana. Sin embargo, la verdadera función de este ORF aún no está dilucidada.

A partir de este punto se procedió a la optimización de la producción de etanol a partir de glicerina neutralizada utilizando el fósido G1.

Para esto se plantearon dos estrategias, por un lado la utilización de la cepa etanologénica LY180 y por otro lado incorporar, en la cepa parental Epi300, el plásmido pLOI297. Este plásmido contiene los genes para alcohol dehydrogenasa (*adh*) y piruvato decarboxilasa (*pdc*) de *Z. mobilis* y confiere a *E. coli* la habilidad de producir etanol como principal producto de fermentación.

Los ensayos de producción de etanol fueron realizados tanto a partir de glicerol puro como de glicerina cruda. Esto se hizo con el objetivo de determinar si el etanol obtenido era producto únicamente de la fermentación del glicerol o si otros contaminantes presentes en la glicerina cruda también eran metabolizados en este producto.

Se estudió la cinética de producción de etanol a partir de glicerol puro en medio mínimo y se pudo determinar que la cepa que posee el fósido G1 fue capaz de producir más etanol que la cepa control. La producción de etanol alcanzó 5.5 g/L a las 20 horas de fermentación a partir de 10% de glicerol puro.

En condiciones similares de incubación se determinó que la producción de etanol aumenta a medida que se incrementa la concentración de glicerol añadida al medio de cultivo alcanzando 11 g/L cuando se emplea el fósido G1 en 50% de glicerol.

Paralelamente se evaluó si los mutantes obtenidos en el ORF 21400 mostraban un fenotipo de producción de etanol alterado. Ensayos de fermentación de glicerol puro con 10% de glicerol

puro como fuente de carbono determinaron que los mutantes muestran niveles de producción de etanol similares a la cepa control y significativamente menores que la cepa conteniendo G1.

Cómo el objetivo de este proyecto fue la producción de etanol a partir de glicerina obtenida como sub-producto de la producción de biodiesel, se continuó con ensayos de fermentación utilizando esta materia prima como fuente de carbono.

Fermentaciones con concentraciones crecientes de glicerina mostraron que la cepa conteniendo G1 fue capaz de producir hasta 32 g/L de etanol a partir de 50% de glicerina neutralizada a las 24 horas de incubación.

Análisis de composición mediante HPLC permitieron determinar que el etanol es el principal metabolito de fermentación generado por la cepa Epi300, tanto a partir de glicerol puro como de glicerina cruda neutralizada. Ácido acético, cítrico y propiónico se detectaron en orden de 0.1-12 mg/ml.

Industrialmente se intenta minimizar el uso de plásmidos ya que estos pueden perderse o no ser estables durante las fermentaciones. Por este motivo continuamos los ensayos de optimización de los niveles de producción de etanol con la cepa etanológica LY180.

Utilizando esta cepa complementada con el fósido G1 se determinó que cuando se adiciona al medio 50% (v/v) de glicerina de ALUR neutralizada se producen 60 g/L de etanol a las 24 horas de incubación y más de 70 g/L de etanol luego de las 48 horas de fermentación.

Los resultados de este proyecto demostraron que es viable la valorización de la glicerina resultante de la producción de biodiesel mediante su conversión parcial a etanol utilizando una cepa especializada de *E.coli* complementada con el fósido G1.

Responsable Técnico: Francisco Noya

Recuperación de hemicelulosas previo al pulpeo Kraft como materia prima para la producción de bioetanol

Proyecto ANII - FSE - 2011 - 6456

La presión sobre los países no productores de petróleo impuesto por el aumento del precio del mismo y la creciente preocupación por el efecto medioambiental de las emisiones de gases de efecto invernadero, fortalecen a nivel mundial el interés que tienen países y empresas por desarrollar e implantar tecnologías de producción sustentable de energía y de generación de combustibles y productos a partir de fuentes renovables. En este contexto, el concepto de biorefinerías ha surgido y se viene desarrollando sostenidamente ya que aparece promisorio para diversos segmentos productivos ya que su oferta de posibilidades de producción es muy amplia.

Una Biorefinería ha sido definida por el National Renewable Energy Laboratory (NREL) de los Estados Unidos como una instalación que integra los procesos de conversión de biomasa y equipos para producir combustibles, calor, electricidad y productos químicos de valor añadido a partir de biomasa. El concepto se define por analogía con las refinerías de petróleo en el que son obtenidos múltiples combustibles y productos.

Sin embargo, a pesar del creciente interés en la conversión de biomasa en combustibles y productos químicos, la baja densidad de biomasa agrícola, los costos de recolección y transporte de los materiales para su transformación hacen que los costos totales para producir biocombustibles o biomateriales sean hoy muy elevados.

Dentro de las fuentes de biomasa, los materiales lignocelulósicos son considerados como una materia prima promisorio para la producción de combustibles y productos químicos dado que son abundantes, pueden crecer en suelos relativamente pobres, necesitan menos energía y nutrientes y no compiten con la producción de alimentos como otras materias primas. Además, los productos madereros presentan ventajas asociadas a su alta densidad, cosecha anual y bajo contenido de silicatos, comparados con otros materiales lignocelulósicos agrícolas. Asimismo, la recolección y el procesamiento de la madera en instalaciones centralizadas ya son realizados por las industrias forestales, lo que implica que la logística de recolección, transporte y procesamiento primario, que es clave en la consideración de los costos, ya existe en estas plantas. De esta forma, la producción de biocombustibles y/o biopolímeros, conjuntamente con los productos tradicionales de las industrias forestales como pulpa de celulosa, papel, cartón y productos madereros, es una gran oportunidad para las industrias forestales de incrementar su rentabilidad.

En la concepción de las denominadas Biorefinerías Forestales Integradas (IFBR por su sigla en inglés), los rolos de madera son procesados para la obtención de los productos tradicionales (celulosa, papel, cartón), mientras que los subproductos y la biomasa excedente son convertidos en biocombustibles, biopolímeros, químicos y energía. La integración de la producción de biocombustibles y/o biopolímeros con la producción de celulosa reduce la barrera del costo de capital para la implementación de las nuevas tecnologías debido a que se utilizan las instalaciones de calderas, plantas de tratamiento de agua y efluentes, así como de otras operaciones auxiliares ya existentes en la planta de producción de celulosa.

Las plantas de producción de celulosa Kraft son un tipo de biorefinerías, ya que además de fibras de celulosa se genera energía eléctrica que se vierte a la red eléctrica externa. Las plantas de producción de pulpa de celulosa existentes ofrecen un punto de partida único para la aplicación de las futuras biorefinerías de múltiples productos. Para la industria de la celulosa, el proceso de biorefinería puede ser concebido como la producción de nuevos productos de alto valor agregado mediante el uso de productos presentes en la madera y que no contribuyen a la producción de papel y celulosa. Este es el caso de la lignina, las hemicelulosas y otros compuestos que normalmente se separan en el proceso de producción de celulosa y quedan disueltas en el licor negro que luego es quemado en la caldera de recuperación para producción de vapor y energía eléctrica.

La biomasa de lignocelulosas está compuesta de tres fracciones mayoritarias: celulosa (35-50% peso seco), hemicelulosas (20-35%) y lignina (10-25%). La hemicelulosa es un polímero heterogéneo que comprende pentosas (xilosas, arabinosas), hexosas (manosa, glucosa, galactosa) y ácidos carboxílicos.

En este trabajo se investigó la recuperación parcial de las hemicelulosas presentes en la madera de eucalipto, por una extracción con licor verde (un químico del proceso) antes del pulpeo Kraft.

El objetivo del mismo fue optimizar las condiciones de extracción de forma de obtener un extracto rico en hemicelulosas adecuado para su uso como materia prima en la producción de bioetanol y sin modificar la calidad de la pulpa de celulosa producida. Se utilizaron diferentes cargas de licor verde (0 a 6%), varias temperaturas (100 - 160°C) y tiempos de reacción (30 - 150 minutos) para una relación de licor: madera constante de 3,5.

Las tres condiciones más prometedoras en términos de rendimiento de extracción y baja degradación de la calidad de la pulpa fueron seleccionadas para continuar el trabajo. Estas condiciones se encuentran en la región de 155-160°C, 120-150 min a la temperatura máxima y con una carga de licor verde de 1-2%. Las concentraciones de xilosa obtenidas fueron entre 1.3 a 3.5%. Para la obtención de bioetanol como paso previo a la fermentación, se concentraron y detoxificaron los extractos. En particular se recuperó ácido acético, un inhibidor potencial de la producción de bioetanol, por extracción líquido-líquido y obteniéndose entonces otro subproducto con valor de mercado.

El microorganismo utilizado para la producción de bioetanol fue *Scheffersomyces stipitis* y la fermentación tuvo una eficiencia (etanol producido / teórico gramos de etanol) de 0,39.

Paralelamente, se ajustaron las condiciones de pulpeo de las tres condiciones elegidas y se midieron propiedades características de la pulpa así como propiedades papeleras a las pulpas producidas y a una pulpa de celulosa sin extracción previa que fue utilizada como pulpa control. Estos ensayos determinaron la calidad de las pulpas con extracción y sin extracción son similares, cuando el proceso de extracción se realiza las mejores condiciones ensayadas. Sin embargo una hubo una caída en el rendimiento de pulpeo entre 4% -10%, lo cual es significativo.

Si consideramos una planta de celulosa con una capacidad de producción de 1.000.000 ADT / año (como las que existen en Uruguay), y un rendimiento de extracción hemicelulosas del 3%, se

obtienen alrededor de 25.000 m³/año de bioetanol, lo que implica alrededor de un 4% del consumo anual de gasolina de Uruguay (teniendo en cuenta el diferente poder calorífico). Además de esto, se podrían producir 30.000 m³/año de ácido acético puro, que tiene mercado y valor comercial considerable, para mejorar la ecuación de costos

Uruguay, con un sector forestal en crecimiento y donde todo el petróleo consumido es importado, está muy bien posicionado para avanzar hacia el desarrollo de biorefinerías forestales con una producción de diversos biocombustibles y bioproductos a partir de toda la matriz lignocelulósica, y este proyecto apuntó a contribuir al avance en esta dirección.

Responsable Técnico: Patricia Gerla

Equipo Técnico: Patricia Gerla, Ma. Noel Cabrera

Producción de bioetanol a partir de residuos forestales

Proyecto ANII - FSE - 2011 - 6468

Durante la realización del proyecto se utilizó corteza de *Eucalyptus* (residuo forestal) como material lignocelulósico para la producción de bioetanol.

La corteza de *Eucalyptus* -así como todos los materiales lignocelulósicos- está constituida por tres polímeros principalmente; lignina, celulosa y hemicelulosa, pero en este caso además hay un alto porcentaje de extractivos.

La producción de etanol a partir de restos lignocelulósicos presenta entre otros problemas aún no bien resueltos, la ruptura de la lignina y los complejos lignina-hemicelulosas, para lograr un mejor acceso de las enzimas a la celulosa.

En las últimas décadas se han desarrollado diversos pre-tratamientos para lograr este objetivo. Una mayor producción de glucosa implica una mayor disponibilidad de azúcares fermentables permitiendo un mayor rendimiento de producción de etanol.

Los pre-tratamiento estudiados durante este proyecto fueron:

- a- Líquidos iónicos
- b- Biológico

a- Pre-tratamiento con líquido iónico:

Se estudió inicialmente el efecto de distintas condiciones de pre-tratamiento con LI en el contenido de lignina de las muestra. Para ello se trató el material lignocelulósico (corteza de *Eucalyptus dunnii*) con LI (Cloruro de 1-butil-3-metilimidazolio). Se estudiaron como variables la temperatura y el tiempo de pre-tratamiento en un rango de 100°C a 160°C por periodos de tiempo de 2 a 8hrs. Los mejores resultados se encontraron a temperatura 140°C y 8 hrs de tratamiento. Las cortezas tratadas en estas condiciones mostraron un incremento del 37% de contenido de lignina, un 13% en el contenido de glucanos y una reducción del 10% en el contenido de xilanos respecto al del material de partida.

b- Pre-tratamiento biológico

Se trabajó con el basidiomycete *Dichostereum sordulentum*, (el cual fue aislado previamente de plantaciones de *Eucalyptus* en Uruguay) y las variables estudiadas en este caso fueron los medios cultivo y los días de pre-tratamiento.

Al analizar distintos días de pre-tratamiento se observa que el porcentaje de deslignificación (lignina Klason) aumenta hasta un 30% a los 32 días, para luego mantenerse estable hacia los 60 días de pre-tratamiento.

Se estudiaron además la cantidad de glucanos y xilanos, su porcentaje aumenta conforme aumentan los días de tratamiento hasta los 32 días, para luego decaer hacia los 60 días.

De estos resultados se puede inferir que luego de dos meses de crecimiento, el hongo comienza a degradar los carbohidratos de la corteza.

Para los distintos pre-tratamientos se realizó la sacarificación evaluando distintas cargas enzimáticas, 10, 20 y 50 FPU/ gr de material pre-tratado.

De las condiciones estudiadas durante el proyecto la mejor concentración de celulasa fue de 50FPU/gr de corteza.

La concentración de glucosa obtenida luego de 144 hrs de sacarificación fue de 325 mg/gr de corteza pre-tratada con LI y de 108 mg/ gr de corteza pretratada en el caso del tratamiento con hongo.

La fermentación se realizó sobre el material sometido a una sacarificación durante 24 hrs.

La cantidad de etanol obtenida por gramo de material, difiere según el pre-tratamiento utilizado. El máximo obtenido para el material pre-tratado con LI fue de 140 mg de etanol/gramo de material pre-tratado y para el tratamiento fúngico de 53,2 mg etanol/gramo de material pre-tratado.

El rendimiento de la producción etanol, obtenido expresado como porcentaje del máximo teórico respecto a la glucosa existente en la muestra pre-tratada, fue del 20 % para el tratamiento biológico y del 64% en el tratamiento con LI.

Responsable Técnico: María del Pilar Menéndez

Evaluación productiva y ambiental de plantaciones forestales para la generación de bioenergía

Proyecto ANII - FSE - 2011 - 5615

Introducción

En el marco de una búsqueda de diferentes fuentes de energía surge la necesidad de evaluar la biomasa de origen forestal desde el punto de vista productivo y ambiental. Es conocido el hecho de que varias especies de Eucalyptus tienen un alto potencial de producción basado en el rápido crecimiento, asociado a su vez a la adaptación a las distintas condiciones de suelo y clima de las regiones forestales del país.

En ese sentido surge como una alternativa interesante evaluar el comportamiento de algunas especies plantadas en sistemas de alta densidad de plantación y turnos cortos de cosecha. Si bien el país cuenta con experiencia en el manejo de cultivos forestales para celulosa y madera sólida no existe información en cuanto al uso de cultivos energéticos.

A raíz de esto se planteó como objetivo analizar el comportamiento productivo de varias especies de Eucalyptus (E. benthamii, E. dunii, E. grandis y E. tereticornis) plantadas a cuatro densidades (6660, 4440, 3330 y 2220) de árboles por hectárea.

Materiales y métodos.

Las variables de crecimiento analizadas a los 22 meses de instalados los ensayos fueron: Altura total, DAP), volumen por hectárea, sobrevivencia y producción de biomasa por hectárea. También se determinó la densidad básica de la madera y el poder calórico superior. Con estos parámetros fue estimada la tasa de retorno energético (EROI). A su vez se determinó la concentración de azúcares fermentables, el rendimiento de etanol y la producción de etanol por hectárea mediante el proceso de sacarificación y fermentación en simultáneo (SFS).

Las distancias de plantación evaluadas son 3 x 0.5; 3 x 0.75, 3 x 1 y 3 x 1.5m variando la distancia entre plantas dentro de la fila. La plantación fue realizada en la primavera del 2010 en suelos de los grupos coneat 7.32 y 9.3. El diseño usado fue de Bloques completos al azar con tres repeticiones. Cada parcela está formada por 6 filas de 25 árboles cada una. Las dosis de fertilizante aplicado fueron de 180 y 150 kg de un fertilizante con NPK, respectivamente.

Resultados

Crecimiento y biomasa

Los resultados obtenidos muestran que en el sitio de Paysandú se obtuvieron los mayores niveles de producción de biomasa por hectárea. Esto está asociado a un mejor control de malezas en las etapas posteriores a la plantación. En ambos sitios se observó que la competencia entre árboles es más marcada con las densidades de plantación y que ocurre en etapas tempranas del cultivo. Las altas densidades también provocan una mayor heterogeneidad en el crecimiento individual de los árboles. Por otro lado, se observa que es posible alcanzar altos niveles de productividad por hectárea con un incremento del número de árboles. La densidad de la madera se ve afectada

por la combinación de la especie y la densidad de plantación mientras que la sobrevivencia no varía en función de este último parámetro. *E. tereticornis* mostró problemas de defoliación debido al ataque de *Teratosphaeria pseudoeucalypti*. La productividad de biomasa en definitiva está asociada al volumen por hectárea el cual está explicado por la densidad de plantación. Los niveles de productividad son muy similares para *E. benthamii*, *E. dunnii* y *E. grandis*. En ambos sitios se observa que los incrementos de producción son de menor magnitud que el aumento del número de árboles por hectárea y que la tasa de incremento medio anual es creciente en éstas etapas del cultivo.

Poder calórico y EROI

Los valores de poder calórico muestran que *E. benthamii* y *E. tereticornis* son las especies que con los mayores valores en los dos sitios. Por otro lado no se observa un patrón definido de esta variable en función de la densidad de plantación.

Los valores más altos del EROI se alcanzan, en promedio, en el sitio de Paysandú, asociado al mayor crecimiento registrado en este sitio. Por otro lado, los mayores niveles de productividad de biomasa determinan los mayores niveles de este índice el cual se obtiene con *E. benthamii*, *E. dunnii* y *E. grandis* a la densidad de 6660 árboles por hectárea.

Producción azúcares fermentables y bioetanol

Los rendimientos en la producción de azúcares, en promedio, son muy similares para ambos sitios y no dependen de la densidad de plantación. Se destaca *E. benthamii* con los mayores niveles de concentración de azúcar. Algo similar ocurre con el rendimiento de etanol en el sentido de que, en los dos ensayos se obtienen valores muy próximos entre sí. Por tanto, las diferencias en la producción de azúcar y de rendimiento de etanol por hectárea están asociadas a la producción de biomasa.

Los resultados obtenidos en la producción de azúcares fermentables y etanol indicarían que la composición química de la biomasa es muy similar para los distintos tipos de biomasa y no se ve afectada por la densidad de plantación, de forma tal que no afecta (o afecta de igual manera) a los procesos de sacarificación y fermentación.

Conclusiones

E. benthamii, *E. dunnii* y *E. grandis* alcanzan niveles similares de productividad de biomasa.

Los mayores niveles de producción de biomasa se obtienen con las mayores densidades de plantación.

La sobrevivencia no es afectada por la competencia entre árboles.

La densidad básica de la madera se ve afectada por el efecto combinado de la especie y la densidad de plantación.

De las cuatro especies analizadas *E. benthamii*, es la que muestra los mayores valores de rendimientos de azúcares.

El rendimiento del proceso de sacarificación no está influenciado por el sitio y la densidad de plantación.

El rendimiento del proceso de SFS y la producción de bioetanol por tonelada de madera son independientes del sitio, la especie y densidad de plantación.

La productividad de bioetanol por hectárea está asociada a los niveles de producción de biomasa.

E. benthamii es la especie que combina al mismo tiempo alta productividad de biomasa y bioetanol por hectárea, poder calórico y alto EROI.

Palabras clave: Eucalyptus, biomasa, etanol, EROI, poder calórico

Responsable Técnico: Fernando Resquín

Equipo Técnico: Resquín F., Rachid C., Hirigoyen A., Doldán J., Lopretti M., Bonifacino S., Buxedas L., Vázquez S., Sapolski A., Gonzalez M., Carrasco-Letelier L., Capdevielle F.

Bioenergía y otros

.

Estudio de la respuesta de variedades deSorgo bicolor (L) Monech cultivadas en Uruguay a la inoculación con bacterias promotoras del crecimiento vegetal

Proyecto ANII - FSE - 2011 - 5911

El cultivo de sorgo dulce (*Sorghum bicolor*) es utilizado como materia prima para la producción de bioetanol complementando el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). El mismo se define como multipropósito ya que es materia prima para la producción tanto de bioetanol así como para la obtención de energía, azúcar y forraje vacuno, presentando condiciones óptimas de crecimiento en el Uruguay. Uno de los principales problemas que presenta este cultivo es la alta demanda de fertilizantes químicos. Esta práctica tiene graves efectos negativos tanto económicos como ambientales, lo que lleva a la necesidad del desarrollo de nuevas tecnologías para ser empleadas en la agricultura con el fin de lograr sistemas de producción más sustentables. Una alternativa a la fertilización química es el empleo de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV). Las BPCV comprenden un conjunto de bacterias que se asocian a las plantas mediante diversos hábitos (endofítico, rizoférico o endosimbionte), estimulándolas para incrementar su crecimiento, su productividad y/o mejorando su estado sanitario. Particularmente las bacterias endófitas son aquellas que viven parte o todo su ciclo de vida en el interior de los tejidos de las plantas sin causar daño aparente, proporcionándole una ventaja adaptativa. Los mecanismos involucrados en la PCV por las bacterias endófitas incluyen la producción y regulación de fitohormonas, el incremento de la capacidad de absorber minerales (N, P, K, Fe) así como el control biológico de fitopatógenos.

En Uruguay se planta para la producción de bioetanol por ALUR, la variedad de sorgo dulce M81E, de la cual se desconocía si presentan bacterias endófitas asociadas, su actividad dentro de las plantas y el efecto de la fertilización química en la misma. Tampoco se tenía información sobre los efectos de la inoculación de BPCV a plantas de sorgo dulce.

El objetivo general planteado fue el determinar, mediante estudios de interacción bacteria-planta, si los endófitos bacterianos provenientes de diferentes colecciones, son PCV de la variedad comercial M81E. Dicho objetivo se relaciona con el fin último de producir un inoculante para esta variedad. Como objetivos particulares se planteó 1- Construir una amplia colección bacteriana de probables endófitos nativos asociados a plantas adultas de la variedad mencionada. 2- Caracterizar bioquímica y molecularmente la colección, buscando potenciales mecanismos de infección (PMI) y de promoción del crecimiento vegetal (PCV), identificando aislamientos de interés. 3- Estudiar la respuesta, en ensayos *in vitro*, de invernáculo y de campo, de plantas de sorgo dulce a la inoculación con BPCV. 4- Estudiar la interacción entre plantas de la variedad M81E y probables endófitos nativos seleccionados.

Como resultados de las diferentes aproximaciones realizadas se obtuvo una colección de 369 probables endófitos bacterianos asociados a la variedad M81E. La misma presentó aislamientos con diferentes características PCV y PMI *in vitro*, lo que resalta su potencial biotecnológico para el desarrollo de un inoculante. De esta colección fueron seleccionados 84 aislamientos los cuales se identificaron a nivel de género, encontrándose aislamientos novedosos los cuales no han sido reportados como asociados a plantas de sorgo dulce. Un grupo de los mismos fue seleccionado

para estudiar su efecto al inocularse plantas de sorgo dulce en condiciones *in vitro* y de invernáculo. Como resultados se demostró que los aislamientos *Rhizobium* sp. UYSB13 y *Pantoea* sp. UYSB45 fueron PCV en condiciones de invernáculo. Los mismos fueron ensayados en condiciones de campo. Asimismo, las mismas se definieron como endófitos verdaderos de plantas de sorgo dulce por técnicas microbiológicas clásicas y microscópicas.

Por último se determinó el efecto de la fertilización química sobre la composición de la comunidad microbiana total así como la microbiana diazotrófica (fijadores del N₂ atmosférico) mediante una aproximación independiente de cultivo. En su conjunto los resultados mostraron que la comunidades endofíticas asociadas a plantas de sorgo dulce de la variedad M81E, se estructuraron según el órgano (endófitos totales) y según la fertilización química aplicada (endófitos-diazótrofos). Asimismo la abundancia de la comunidad endofítica-diazótrofa se ve afectada por el nivel de fertilización, siendo menor al aplicarse. Este estudio revela que es clave tener en cuenta el nivel de fertilización que se emplea cuando se piensa en introducir un inoculante en la variedad de sorgo dulce en estudio.

En el marco de este proyecto se desarrollaron recursos humanos especializados en el tema incluyendo una Maestría en el marco del PEDECIBA (subarea Biología) y una tesina de grado de la Licenciatura de Biología de la Facultad de Ciencias. Asimismo los resultados fueron presentados en varios congresos nacionales e internacionales, lográndose un cuerpo de datos que resultaron en una publicación en una revista internacional arbitrada (Mareque et al 2015) y un manuscrito enviado para ser publicado.

Responsable Técnico: Federico José Battistoni

Producción de hidrógeno mediante foto-reformado de glicerol

Proyecto ANII - FSE - 2011 - 6269

La industria del biodiesel genera glicerina como residuo que contiene una alta carga de impurezas que no permite su fácil aprovechamiento para los usos típicos que ella tiene. La purificación de esta glicerina es costosa y distintos estudios consideran que no es económicamente viable.

El presente proyecto estudió una alternativa de aprovechamiento de dicha glicerina mediante su degradación en presencia de luz y un sólido semiconductor, con obtención de gas hidrógeno como uno de los productos principales. Los principales motivos de interés de este tipo de proceso (también denominados procesos fotocatalíticos) son los siguientes:

- i) pueden transcurrir a temperatura ambiente, presión atmosférica y luz solar como principal fuente de energía;
- ii) el sólido semiconductor se usa en pequeñas cantidades y permite transformar grandes cantidades de glicerina, por lo que su costo resulta poco significativo;
- iii) el hidrógeno producido tiene interés práctico ya que posee un alto poder energético y puede ser utilizado como combustible en sustituto de los derivados de materias primas fósiles (petróleo, gas natural, carbón). Debido a que la combustión del hidrógeno solo genera agua como producto, su utilización evita la contaminación de la atmósfera y disminuye los efectos del cambio climático.

En el proyecto se estudiaron tres tipos de sólidos semiconductores: i) óxido de titanio comercial (TiO_2 Degussa P25); ii) óxido mixtos de titanio y bismuto ($\text{Bi}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$); iii) óxido de titanio modificado por dopaje con nitrógeno (N-TiO_2). Para estos sólidos se determinaron algunas de sus propiedades (estructura cristalina, tamaño de partícula y área superficial, propiedades ópticas), todas ellas de interés para el uso planteado. Los sólidos se probaron a escala de laboratorio en la producción de hidrógeno por degradación de glicerina. Como fuentes de luz se usaron lámparas de 2 tipos de luz: ultravioleta cercana (UV 125 W) y visible (300 W) (ambas presentes en la radiación solar). Pequeñas cantidades de platino fueron incorporadas en los óxidos para aumentar su actividad catalítica.

En la Figura 1 se muestran los espectros de rayos X de los 3 tipos de óxidos estudiados. Todos ellos muestran un alto grado de cristalinidad, adecuado para su uso como fotocatalizador. En el caso del óxido mixto se comprobó que el mismo responde a una estructura cristalina típica del compuesto de estequiometría $\text{Bi}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ reportado en la literatura con capacidad para captar luz en el rango del visible.

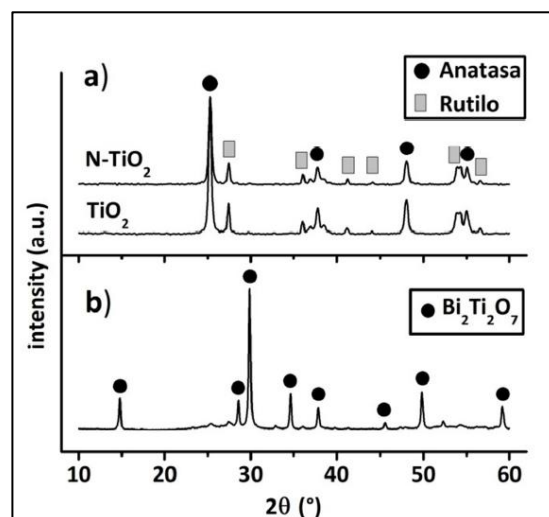


Figura 1. Difractogramas de rayos X de los óxidos semiconductores.

En la Figura 2 se muestran los espectros de absorción de luz a distintas longitudes de onda en el rango del ultravioleta cercano (250 a 400 nm) y del visible (400 a 800 nm). Se aprecia que los 3 óxidos exhiben altos valores de radiación absorbida (FDR) en el rango del UV, mientras que en el visible muestran diferencias significativas, siendo el óxido nitrogenado (N-TiO₂) el que presenta mayor capacidad de absorción.

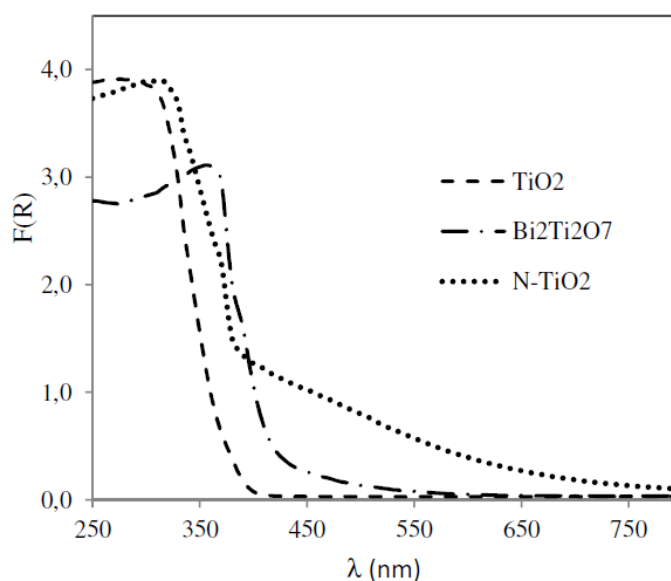


Figura 2. Espectros de absorción de luz por parte de los óxidos.

De acuerdo a estos resultados, los 3 óxidos permiten captar la luz ultravioleta, mientras que solo el óxido nitrogenado puede captar luz visible en una gran proporción, siendo este último el más apropiado para uso con luz solar.

Todos los sólidos permitieron degradar la glicerina con producción de hidrógeno como principal producto gaseoso. En la Tabla 1 se muestra la producción de hidrógeno con los distintos óxidos.

Tabla 1. Producción de H₂ por fotoreformado de glicerol. [Glicerol]₀ = 0.50 M.

Fotocatalizador	Producción de H ₂ ($\mu\text{mol min}^{-1}$)	
	UV (125 W)	Visible (300 W)
Pt1%/N-TiO ₂	10.9	3.4
Pt0.2%/Bi ₂ Ti ₂ O ₇	0.7	0
Pt1%/TiO ₂ Degussa P-25	10.7	1.0
Pt0.2%/TiO ₂ Degussa P-25	6.2	-

El óxido de titanio (TiO₂ Degussa P-25) y el nitrogenado (N-TiO₂) son los que producen hidrógeno en mayor cantidad cuando se utiliza luz UV (10.7 y 10.9 $\mu\text{mol min}^{-1}$ respectivamente). El óxido nitrogenado permite obtener la más alta producción de hidrógeno cuando se utilizó luz visible (3.4 $\mu\text{mol min}^{-1}$) y ello se explica por su mayor capacidad de captación de este tipo de luz. De acuerdo con estos resultados, óxidos de titanio nitrogenado serían los más apropiados para procesos de fotoreformado con luz visible.

El presente proyecto constituye el primer caso en nuestro medio de estudio de un proceso fotocatalítico para la producción de hidrógeno a partir de glicerina y los resultados obtenidos serán de utilidad para futuros estudios tendientes a establecer el potencial para su aplicación a escala real.

Responsable Técnico: Juan Bussi

Facultad de Química, UdelaR. E-mail: jbussi@fq.edu.uy

Utilización de glicerol para producción de aceites microbianos

Proyecto ANII - FSE - 2011 - 6515

La búsqueda de fuentes de energía renovables impulsada por la potencial desaparición de las fuentes de combustible fósil y las consecuencias ambientales de su explotación, ha determinado un creciente interés en los biocombustibles. El biodiesel, constituido por una mezcla de ésteres metílicos o etílicos de ácidos grasos provenientes de triglicéridos de diferentes orígenes, es uno de los biocombustibles utilizados. En el proceso de producción del mismo se genera glicerol como subproducto, en cantidades que representan un 10% del biodiesel producido. Nuestro país está actualmente desarrollando la producción de biodiesel, lo cual ha llevado a un aumento en la producción del glicerol derivado del proceso. Sin embargo, de continuar en aumento, podrían generarse problemas en la disposición intermedia y final del glicerol generado, cuyos precios internacionales están actualmente a la baja debido al crecimiento mundial en la producción de biodiesel. En el presente, la principal materia prima para la producción nacional de biodiesel son los aceites vegetales tales como el aceite de soja, girasol o canola. Sin embargo, el alto costo asociado a la generación de dichas materias primas podría afectar la viabilidad económica del proceso. A su vez, debe considerarse que el uso de cultivos comestibles para la producción de combustibles está siendo cuestionada desde un punto de vista ambiental, social y cultural. En esta coyuntura, parece oportuno plantear nuevos procesos para la obtención de biodiesel y para la utilización del glicerol obtenido en el proceso. Es así que en la actualidad, a nivel mundial, se están explorando fuentes alternativas de triglicéridos entre las cuales se encuentran los aceites producidos por microorganismos tales como bacterias, levaduras, microalgas u hongos filamentosos. En algunos casos y bajo determinadas condiciones de cultivo, ciertas especies microbianas pueden acumular intracelularmente cantidades de triglicéridos que representan el 20% o más del total de su biomasa. En general la composición de la mezcla de ácidos grasos obtenidos a partir de ellos es similar a la de los cultivos oleaginosos, por lo cual se piensa en ellos como una materia prima alternativa. En ese sentido, existen ciertas ventajas en la producción de aceites microbianos en comparación a la de aceites vegetales o animales, entre las cuales se destacan el corto ciclo de vida de los microorganismos; la posibilidad de una producción continua y sin estacionalidades; menor requerimiento de mano de obra; menor vulnerabilidad a los cambios climáticos o de locación y mayor facilidad para el escalado de la producción. Por otra parte, los costos de producción microbiana pueden minimizarse utilizando para el cultivo fuentes de carbono económicas como, por ejemplo, subproductos industriales entre los cuales se encuentra la glicerina obtenida en el proceso de producción de biodiesel. Este trabajo planteó la utilización de levaduras oleaginosas (definidas como aquellas que acumulan triglicéridos en niveles superiores al 20% de su biomasa), obtenidas a partir de glicerina cruda, como materia prima para la producción de biodiesel. El objetivo general consistió en aislar y seleccionar una levadura oleaginosa capaz de asimilar glicerol y acumular triglicéridos intracelulares con un perfil de ácidos grasos apto para la producción de biodiesel. Se trabajó con 28 cepas nativas entre las cuales 21 fueron identificadas como oleaginosas y de las cuales se seleccionaron 4 cepas cuyos porcentajes de lípidos acumulados por biomasa seca (43.2, 44.1, 47.1 y 50.5%) resultaron significativamente superiores al resto. De acuerdo a la capacidad de asimilar glicerol y a la composición de las mezclas de ácidos grasos obtenidos, se seleccionó una cepa que presentó una concentración de aceite por volumen de cultivo significativamente superior al resto (4,8 g/L), al cultivarse con glicerina cruda como fuente de carbono y energía. La cepa se identificó

como *Rhodotorula graminis* mediante análisis fenotípico y molecular. A su vez, se optimizó la composición del medio de cultivo y las condiciones de incubación y cosecha para maximizar la concentración de biomasa y lípidos. Se logró obtener una producción de 6,3 g/l de lípidos usando glicerina cruda como fuente de carbono y se simplificó la composición del medio de cultivo disminuyendo los componentes de mayor costo tales como el extracto de levadura. De acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo, se necesitarían 100.000 litros de cultivo para alcanzar la masa de aceite promedio producida por hectárea de cultivo oleaginoso en un año (650-700 kilos). Este volumen de cultivo se podría lograr con 10 fermentadores de 10.000 litros, en un tiempo menor a una semana. Tales volúmenes de trabajo (10.000 litros) son comunes en bioprocesos industriales, por lo cual la producción de triglicéridos a partir de levaduras, en estas condiciones, podría ser competitiva a nivel industrial, en especial si en la producción de los mismos se emplearan medios de cultivo de bajo costo basados en subproductos industriales. Un aspecto importante a considerar a la hora del traspaso a la industria, es el proceso de producción de biodiesel a partir de la biomasa formada. Para ello, se han diseñado metodologías de transesterificación in situ que permiten la obtención de los metilésteres que forman el biodiesel, en un solo paso. Se compararon métodos de catálisis ácida y básica, resultando la primera significativamente más eficiente. Se estudió la significancia de diferentes variables involucradas en la catálisis ácida, llegándose a optimizar el tiempo, la temperatura y la relación metanol biomasa para lograr una máxima obtención de metilésteres de origen microbiano.

Responsable Técnico: Silvana Vero

Equipo Técnico: Virginia Pereyra, Adalgisa Martínez, Mathías Sánchez, Gabriela Garmendia, Caterina Rufo, Silvana Vero

**Cemento portland compuesto (CPC) con ceniza de cáscara de arroz:
oportunidad para el ahorro energético y disminución de emisiones
de CO₂ en el proceso de elaboración de cementos de nuestro país**

Proyecto ANII - FSE - 2011 - 6476

La industria cementera es responsable de un 7% de las emisiones de CO₂ en el mundo. Por cada tonelada (ton) de cemento producido se emite a la atmósfera 1ton de CO₂.

La sustitución parcial del cemento por residuos agroindustriales, es una alternativa para reducción del consumo energético y el impacto medioambiental. Por cada kilogramo menos de clínker que se emplee para fabricar una tonelada de cemento se reducen las emisiones de CO₂ en 1kg aproximadamente.

Uruguay está inmerso en un proceso de crecimiento, basado entre otros en el desarrollo agroindustrial, como elemento superador de la estructura de ganadería extensiva. Si se toma como referencia la producción de arroz en Uruguay, se tiene como promedio de los diez últimos años 1.225.114 toneladas de arroz con cáscara, de los cuales se obtuvieron en promedio 245.023 toneladas de cáscara de arroz anualmente. En nuestro país dos empresas emplean casi en su totalidad esta cáscara (GALOFER S.A. y ARROZUR S.A.) siendo la ceniza de cáscara de arroz (CCA) uno de los residuos del proceso agroenergético que se está dando actualmente en el departamento de Treinta y Tres donde estas empresas producen 85 y 15 toneladas de CCA diarias, respectivamente, lo cual da un total de 100 ton/día, obteniéndose 36.000 ton/año de CCA. Actualmente, la ceniza de cáscara de arroz no tiene destino en nuestro país.

Por todo ello el objetivo general del proyecto era demostrar que se puede elaborar cemento portland compuesto (CPC) mediante sustitución parcial de clínker por ceniza de cáscara de arroz residual (CCAR) de proyectos de generación de energía de nuestro país a partir de biomasa.

Se emplearon CCAR de las dos empresas. Ambas se estudiaron combinándolas con filler calcáreo en diferentes porcentajes, llegándose a sustituir hasta 35% de cemento. Se realizaron ensayos químicos, físicos, de resistencia y durabilidad, se estudió también su viabilidad ambiental.

Empleando ambas CCAR se obtuvieron resumidamente las siguientes conclusiones y resultados:

- Para elaboración de cemento no es posible emplear las CCAR tal como se obtienen, por lo que deben ser acondicionadas adecuadamente mediante técnicas sencillas de secado, tamizado y molienda.
- Es posible obtener cemento portland compuesto (CPC), en base a mezclas ternarias (Clinker+CCAR+Filler calcáreo), con diferentes porcentajes de sus componentes principales variando entre 10% y 35% los porcentajes de sustitución de clínker por CCAR+Filler calcáreo.
- En relación al cumplimiento de los requisitos mecánicos, químicos y físicos de las diferentes mezclas ternarias, de acuerdo a UNIT 20:2003 :
 - i. todas las combinaciones ternarias cumplieron los requisitos químicos
 - ii. los requisitos mecánicos para CPC se cumplieron en la mayoría de las combinaciones estudiadas para ambas CCAR. Con los mayores porcentajes de CCAR se obtenían los

mayores resultados de resistencia, considerándose como mejores combinaciones las que tenían menor contenido de filler calcáreo (5%).

- iii. los requisitos físicos establecidos en UNIT20:2003 (finura, constancia de volumen, tiempos de fraguado) se cumplieron en todas las combinaciones estudiadas para ambas CCAR.
- Si bien la norma UNIT20:2003 no fija requisitos de durabilidad, se estudiaron diferentes aspectos en el Proyecto. Siendo la reacción alcali-sílice (RAS) el más importante, los resultados obtenidos demostraron que aunque ambas CCAR estén compuestas principalmente por sílice parcialmente cristalina éstas no desarrollan dicha reacción con los álcalis del cemento, estando todos los porcentajes de empleo en la zona de comportamiento inocuo. También es importante la resistencia a sulfatos, observándose un excelente comportamiento de las mezclas ternarias en relación al cemento de referencia (Cemento Portland Normal, CPN), siendo 30% de CCAR de Arrozur y 15% de Galofer los porcentajes óptimos de empleo frente al ataque de sulfatos.
 - Con CPC elaborados en base a mezclas ternarias con CCAR y filler calcáreo se obtienen reducciones de las emisiones de CO₂ de 7,43% hasta 21,15% en comparación a las producidas elaborando CPN.
 - Cuanto mayor porcentaje de CCAR se emplea mayores reducciones de emisiones de CO₂ se tienen.

Desde el punto de vista técnico y ecológico quedó demostrado el objetivo general del proyecto.

Por lo que ha queda demostrado que en nuestro país se puede elaborar cemento portland compuesto (CPC) mediante sustitución parcial de clinker por ceniza de cáscara de arroz residual proveniente de proyectos de generación de energía a partir de biomasa (CCAR) obteniéndose beneficios medioambientales además de técnicos.

Responsable Técnico: Gemma Rodríguez

Utilización de la energía geotérmica para calefacción de invernaderos de tomates (*lycopersicum esculentum*, mill.)

Balance de energía

Proyecto ANII - FSE - 2011 - 6148

El sistema energético mundial se apoya fundamentalmente en la generación a partir de combustibles fósiles como el petróleo, el carbón vegetal y mineral y el gas. En el siglo pasado, la utilización de energías renovables aumentó notablemente, con la incorporación de grandes represas hidroeléctricas. En la actualidad se destacan la energía eólica, la solar térmica y la solar fotovoltaica. A diferencia de estas últimas fuentes renovables, la energía geotérmica no tiene su origen en la radiación solar sino en las altas temperaturas que existen en el interior de la Tierra.

En Uruguay, la energía geotérmica disponible es de baja entalpía y se asocia al área donde se halla el Sistema Acuífero Guaraní, al noroeste del país. Su origen es debido al gradiente geotérmico, cuya relación es 3°C de aumento cada 100 metros de profundidad.

La energía a aprovechar es transportada por el agua de perforaciones infrabasálticas, donde en la surgencia alcanza alrededor de 30°C más que la temperatura natural en pozos someros. La perforación infrabasáltica de mayor temperatura a boca de pozo se encuentra en Salto, pertenece a OSE, y alcanza 49°C.

El complejo municipal Termas de Daymán distribuye el agua extraída del pozo profundo a distintos complejos recreativos, entre los que se cuenta La Posta de Daymán, como punto extremo al norte. El predio, perteneciente a la Curia Eclesiástica de Salto, tiene una superficie suficiente para atender varias actividades relacionadas con el uso directo de estas aguas, entre las que se cuentan las piscinas del hotel y del camping y un proyecto de piscicultura.

Los residuos del agua utilizada para baños en las termas salteñas no tienen un aprovechamiento cierto, y las mismas terminan desaguando, aún con energía aprovechable, en los ríos cercanos, tras un recorrido variable para su enfriamiento previo.

Temperaturas inferiores a 50°C son aplicables a la calefacción de especies vegetales bajo invernáculos como protección de las bajas temperaturas ambiente en la época invernal (González-Real et al, 1983, citado por López et al., 2000).

El tomate es el principal cultivo hortícola del Uruguay, tanto en volumen físico como económico. Se trata de una especie de ciclo estival indiferente al fotoperíodo y cuya temperatura óptima varía con su estado fenológico. Después del trasplante, los óptimos de temperatura son 18-22° C para el día y 15-17° C para la noche. Una temperatura por debajo de 12° C ralentiza el crecimiento y aparecen síntomas de deterioro. Temperaturas debajo de 10°C causarían efectos negativos sobre la floración (Benacchio, 1982).

En la investigación llevada a cabo se procuró encontrar alternativas al uso del recurso geotermal que aporta el Sistema Acuífero Guaraní, fuera de la tradicional aplicación en balneoterapia y turismo.

El objetivo de este trabajo es presentar el balance térmico de invernáculos con y sin aporte de calefacción y el ahorro energético de utilizarse un sistema convencional para los años 2013 y 2014.

Palabras clave: intercambio de calor, ahorro de energía, cultivo de primor

Responsable Técnico: Jorge de los Santos¹

Equipo Técnico: Ramos, J.¹; de los Santos, J.¹; De Souza, R.²; Saravia, C.²; Blanco, N.²; Bentancur, O.²; Cánepa, P.²; Ferreira, Á.¹

¹ Departamento del Agua, Centro Universitario Región Noroeste, Uruguay, Rivera 1350 CP 50.000.

² Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay, Ruta 31 km 21 ½, Salto, CC 68.136,

*Contacto: jramos@unorte.edu.uy

Mercados, subastas y nuevas tecnologías en el sector eléctrico uruguayo

Proyecto ANII - FSE - 2011 - 6245

El proyecto se desarrolló en 3 subgrupos de trabajo por área temática. A continuación, se presentan los principales resultados de cada Subgrupo de trabajo.

S1: Bases conceptuales de un modelo regulatorio aplicable en el largo plazo para Uruguay.

Desde el año 2002 rige en Uruguay un marco normativo establecido a partir de la Ley de Marco Regulatorio N° 16.832 de 1997. Interesa remarcar las hipótesis iniciales para la concepción de esta reglamentación, similar a la establecida en Argentina a principios de los años 90. El punto de partida se centraba básicamente en la fuerte interconexión existente entre ambos países, el mercado argentino sumamente atomizado y con precios a la baja debido a la fuerte competencia introducida. Estas hipótesis hacían pensar en que se podrían considerar a ambos mercados integrados como un gran mercado mayorista con reglas similares, cumpliendo con las hipótesis de la literatura sobre este tipo de mercados, estableciendo competencia en generación y comercialización, compra y venta de energía mediante contratos y en el Spot, y la transmisión y distribución de electricidad como actividades reguladas debido a sus características propias de monopolios naturales.

A comienzos de la década del 2000, con una fuerte crisis que afectó todos los sectores económicos del país, Argentina dejó lentamente de aplicar las reglas establecidas en el marco regulatorio eléctrico, mientras que en Uruguay aún no se había puesto en práctica la reglamentación. Como resultado, esta visión de mercado integrado con reglas de juego similares, no llegó a aplicarse, dejando de valer asimismo parte de las hipótesis sobre las cuales el modelo uruguayo fue concebido.

A más de una década de la vigencia del marco regulatorio en Uruguay, se constata un escaso grado de aplicación y de hecho un viraje implícito, pero no explícito, hacia otra concepción del modelo, donde la competencia es “POR” el Mercado y no “EN” el Mercado, por lo que resulta pertinente preguntarse por un lado si el modelo vigente es adecuado dada la realidad en relación a la región y a los cambios propios que ha tenido el funcionamiento del sector en la última década, y por otro, cuál sería eventualmente el nuevo modelo y su forma de implementación a partir de la reglamentación existente.

Los modelos regulatorios deben dar respuesta a las características particulares del sector eléctrico de cada país estableciendo reglas claras, transparentes y estables que se apliquen y permitan a los actores conocer cabalmente el ambiente donde desarrollan sus actividades.

El análisis del funcionamiento del modelo regulatorio vigente, muestra que su escaso grado de aplicación en los términos que ha sido concebido llevan necesariamente a cuestionarlo, restudiar las hipótesis de partida y definir las bases conceptuales sobre la cual debe sustentarse un modelo adecuado a las características del sector eléctrico uruguayo y su relación con la región.

Se concluye, que dada la situación actual, el modelo debe re-escribirse, haciéndose explícito un modelo de competencia “POR” el Mercado y no “EN” el Mercado (Modelo 2 vs. Modelo 3, según Hunt S. and Shuttleworth, G.).

S2: Mecanismos de subastas para el mercado spot incluyendo energías renovables

Dentro de esta área temática, se trabajó en dos líneas independientes:

1. Por una parte, en problemas de decisión con incertidumbre que aparecen en subastas de energía del día anterior, debido a la aparición de las energías renovables, y también de consumidores que combinan incertidumbre con respuesta a la demanda.
2. Por otro lado, la aplicación de los avances recientes en OPF para la optimización de redes de distribución, buscando reflejar en un costo económico todas las variables de decisión que se disponen a ese nivel.

A continuación se presentan los resultados relevantes para cada una de las líneas de trabajo:

1. Decisiones con incertidumbre en el mercado del día anterior.

Los proveedores de energía renovable deben ofrecer energía con antelación, pero a diferencia de las fuentes despachables tienen incertidumbre en la generación real al día siguiente (viento, sol, etc.). Esto lleva a potenciales desbalances, que deben ser saldados comprando o vendiendo en tiempo real según su oferta del día anterior sea menor o mayor que la generación real. También habrá incertidumbre en cuanto a los precios que se aplicarán a esas transacciones de tiempo real, todo lo cual hace de la decisión de cuanto ofertar el día anterior un problema no trivial. En forma dual, quienes demandan energía tienen también incertidumbre veinticuatro horas antes sobre su demanda real al día siguiente y los precios a los que deberán comprar o vender energía si su reserva el día anterior no se ajusta a la demanda real. Esto motiva abordar estos problemas mediante optimización estocástica, cosa que se ha hecho en la literatura nivel internacional.

En particular, se ha estudiado el mercado del día anterior donde generadores y consumidores realizan ofertas por cantidades de energía, y donde la incertidumbre en el suministro (renovables) o en la demanda se modela mediante una distribución de probabilidad. En este marco, se obtiene la expresión que brinda la decisión óptima de cada agente (generador renovable o consumidor) en el mercado del día anterior. Por otra parte, se analizó el mercado integrado del día anterior donde consumidores y proveedores de energía renovable interactúan con generadores despachables para determinar el precio de mercado de la energía.

2. Optimización económica para las futuras redes de distribución

Una conclusión de nuestros estudios preliminares fue que las mayores oportunidades de impacto de los recientes avances en optimización del flujo de carga, residen en las redes de distribución. En dichas redes, en particular a nivel de media tensión, el distribuidor dispone tradicionalmente de una serie de variables de configuración, principalmente: llaves que pueden modificar la topología, *taps* de transformadores de estaciones y subestaciones, bancos de condensadores

para control de reactiva. Los objetivos que se persiguen incluyen la reducción de pérdidas, el mantenimiento de la tensión en niveles permitidos en todos los puntos de la red, la calidad de servicio en términos de baja probabilidad de fallas, y otros. Todo ello considerando variaciones de las cargas diurnas y estacionales. Dada la complejidad del problema predominan en la industria soluciones definidas manualmente por los ingenieros a cargo.

Sin embargo, en un futuro no muy lejano se incorporará fuerte variabilidad adicional al problema, tanto por el lado de las energías renovables que no tienen niveles fácilmente predecibles, como por el lado de la respuesta de demanda. Por otra parte, estas tecnologías también proporcionan nuevas variables de control en tiempo real, por ejemplo el ajuste de potencia reactiva en los inversores que entregan la energía eólica. Se impone entonces un método más sistemático para abordar los problemas de configuración. En algunos trabajos recientes del grupo de Low (Caltech, EEUU) se ha mostrado como apoyarse en el problema de flujo de carga óptimo (OPF), para optimizar configuración de llaves o potencia reactiva. En este proyecto, se buscó una formulación general donde el criterio de optimización incorpore en lo posible todas los costos relevantes para el distribuidor (el costo de abastecimiento de la demanda y las pérdidas, penalizaciones por tensión y por calidad de servicio, costos de deterioro de equipos por conmutación de equipos, etc.), y la optimización numérica ayude a seleccionar las variables de control (llaves, transformadores, reactiva, respuesta activa de demanda) de acuerdo a este criterio económico.

S 3: Mecanismos de respuesta a la demanda (DR)

Existen varios mecanismos de DR reportados en la literatura y en la práctica de las empresas del sector básicamente clasificados en Programas basados en Incentivos (IBP, *incentive based programs*) y Programas Basados en Precios (PBP, *price based programs*). Entre los primeros es bueno destacar el control directo de la demanda, una estrategia que tiene UTE en estudio. Entre los segundos, quizás la estrategia más simple de esta categoría, está la tarifa multihorario que busca desplazar consumo, con la ayuda del incentivo tarifario, de la hora pico al valle. Estas estrategias, y muchas otras reportadas en la literatura, son el resultado de un compromiso entre el impacto y la dificultad de implementación.

El escenario tecnológico corriente dado por la expansión de la infraestructura de comunicaciones y el abaratamiento de la capacidad descentralizada de cálculo es un incentivo fuerte para centrar el trabajo en estrategias que conlleven mayor impacto aunque sea al precio de una mayor complejidad relativa de implementación, que va a ser rápidamente absorbida por el desarrollo tecnológico mencionado.

Es así que el análisis se centró en las estrategias denominadas RTP (*real time pricing*, una subcategoría de las estrategias PBP) en las que el consumidor toma sus decisiones en tiempo real (asistido por *hardware* distribuido, naturalmente) basados en las señales de precio que da el sistema a lo largo del día de acuerdo al estado de la demanda y también de la oferta de energía. De esta forma, el sistema sacaría mayor provecho de la elasticidad de la demanda frente a las variaciones horarias asociadas al consumo, la generación renovable y otros agentes como autos eléctricos y almacenamiento en baterías. Siguiendo la línea de Na Li, Lijun Chen y Steven H. Low, se trabajó en una esta estrategia que despacha cada dispositivo o categoría de carga

(iluminación calefacción, lavarropas, baterías, etc.) de tal forma de optimizar el beneficio económico del consumidor tomando en cuenta los precios de la energía hora a hora y las características de uso de cada dispositivo. Para ello fue necesario modelar la función de utilidad (en el sentido de la teoría micro económica clásica) para que puedan tomarse decisiones sobre el despacho de cada tipo de carga. De esta forma se puede desplazar carga de los picos diarios de consumo sin afectar el confort del usuario. Se ha seguido trabajando en una implementación MATLAB de este algoritmo distribuido de DR. Entre los resultados esperados de este trabajo está el poder cuantificar el impacto de cada tipo de carga (aire acondicionado, lavarropas, autos eléctricos) sobre el perfil horario de la curva de demanda de los consumidores.

Por otra parte, se ha propuesto una segunda línea de trabajo, que también continúa al presente, que apunta a cuantificar el impacto económico de las distintas estrategias de DR. Básicamente, consiste en evaluar el costo de reposición de la red de distribución a lo largo de un horizonte de tiempo de varios años para distintos escenarios de DR. Se evalúa la situación actual (basada en curvas de demanda horaria ya relevadas) y se la contrasta con el resultado de la aplicación de la estrategia RTP con participación de diversos agentes (autos eléctricos, lavarropas, calefacción, etc.).

De esta forma apuntamos a tener un procedimiento adecuado para cuantificar el impacto de estas estrategias de DR sobre los costos del sistema de distribución. Esta información es clave para evaluar el costo/beneficio de decisiones estratégicas en el área.

Responsable Técnico: Silvana Vero

Equipo Técnico: Virginia Pereyra, Adalgisa Martínez, Mathías Sánchez, Gabriela Garmendia, Caterina Rufo, Silvana Vero

