

## **ACTIVIDADES DESARROLLADAS POR LA GECCU**

Sosa, Maria Isabel

UID GECCU, Área Departamental Mecánica – Facultad de Ingeniería

Universidad Nacional de La Plata

Calles 48 y 116 B1900TAG La Plata - Argentina

Tel/Fax: +54-221 4236692 - E-mail: [misosa@ing.edu.ar](mailto:misosa@ing.edu.ar)

**Palabras Claves:** uso racional de la energía, cogeneración, bonos de carbono

### **RESUMEN**

El objetivo del presente trabajo es comentar actividades realizadas por el grupo en la última década, en lo referido a estudios de URE en el sector industrial. Dentro de este ámbito se han realizado diferentes acciones, dentro de las cuales cabe mencionar proyectos relacionados con la cogeneración y el uso racional de la energía en el sector industrial. Se presentará un ejemplo referente a los estudios de factibilidad realizado por el grupo.

### **1. INTRODUCCIÓN**

El objetivo del presente trabajo es comentar las acciones realizadas por el grupo en la última década, en lo referido a estudios de URE en el sector industrial. El grupo formado por el Ing. Fushimi hace más de dos décadas ha pasado diversas instancias de desarrollo. A partir del año 2000 me he incorporado al grupo, primero como integrante, luego como codirectora y finalmente quedando a cargo del mismo en el momento del retiro del Ing. A. Fushimi, quien continúa participando de las actividades como colaborador.

### **2. USO RACIONAL DE RECURSOS PRIMARIOS**

El uso racional de los recursos energéticos no renovables es un concepto sencillo, cuya aplicación en la práctica implica tecnologías de mayor envergadura y en general inversiones, que no están generalmente consideradas en los presupuestos. Nuestra sociedad no valoriza adecuadamente el Uso Racional de los Recursos Energéticos URE, o sea la producción del efecto deseado con el mínimo consumo de recursos y afectación del medio ambiente. Actualmente la certeza del agotamiento de los recursos no renovables, la contaminación del medio ambiente debido a la naturaleza intrínseca de los procesos de conversión de recursos fósiles entre otros, exige su pronta aplicación.

El Uso Racional de la Energía URE se fundamenta en la Termodinámica, dando sus principios las pautas para su aplicación.

El *Primer Principio de la Termodinámica*, Principio de Conservación de la Energía, está basado en la eficiencia térmica de las componentes y del sistema térmico como todo. El rendimiento de un sistema se calcula en base a la energía saliente en función de la entrante. Mejorar el rendimiento implica reducir pérdidas de energía, que se producen por deficiencias en las unidades de un sistema, como ser aislaciones térmicas deficientes, pérdidas de condensado, purgas no justificables, trampas de vapor deficientes, instrumentación de control en mal estado, válvulas defectuosas, equipamiento inadecuado o sobredimensionado, etc.

Por otro lado, el *Segundo Principio de la Termodinámica*, Principio de Factibilidad Termodinámica, toma en consideración la calidad de la energía. El mismo apunta a evitar las pérdidas de calidad de la energía, producidas espontáneamente en los procesos irreversibles. Esto introduce el concepto de *exergía*, o sea la parte de la energía que puede transformarse en trabajo mecánico. Considerar un rendimiento exergético implica el cálculo

de la energía saliente en función de la energía máxima que puede convertirse en trabajo. Este Principio establece que en todo sistema térmico de potencia parte de la energía entrante no puede convertirse en trabajo, siendo el límite teórico el de Carnot. El resto es *anergía*, energía que no puede transformarse en trabajo. Optimizar un sistema no implica lograr rendimientos térmicos del 100%, dado que violarían el Primer Principio, sino lograr que el rendimiento exergético se aproxime al 100%. Por lo tanto, un sistema será tanto mas eficiente desde el punto de vista del Segundo Principio cuanto más se acerque a un sistema ideal, o sea para el cual la exergía destruida o las irreversibilidades se minimizan.

### 3. GENERACIÓN ENERGÉTICA Y USO DE RECURSOS PRIMARIOS

El URE se relaciona con el aprovechamiento al máximo de los recursos primarios. En general, los sistemas térmicos se asocian a la generación de calor, la cual en forma convencional se realiza a partir de recursos fósiles, hidrocarburos o carbón, y en menor grado a partir de recursos renovables como ser biomasa, energía solar, etc. En instalaciones de gran porte como ser generadores, se utiliza gas natural o gas licuado de petróleo. A nivel industrial en su mayoría utilizan los mismos recursos, solo en industrias de menor envergadura con menores demandas calóricas se usa biomasa.

Toda planta industrial requiere del vector energético y en muchos casos también del térmico. Generalmente una industria demandante de ambos vectores energéticos se conecta a la red para suplir su demanda energética y utiliza calderas convencionales para generar el vapor necesario, quemando para ello en su mayoría combustibles fósiles, como ser gas natural GN, fuel oil FO o gas oil GO. La generación de vapor en caldera convencional produce una mezcla de óxidos de carbono, principal responsable de la generación de gases de efecto invernadero [5]. La obtención del vector calórico a partir de la combustión de recursos fósiles es un proceso ineficiente desde el punto de vista exergético, dado que podría utilizarse el mismo y generar no solo calor sino también trabajo mecánico, el cual puede transformarse fácilmente en energía eléctrica.

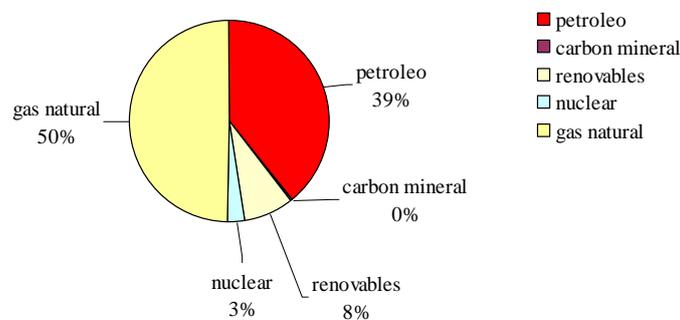


Figura 1. Energía Primaria

En Argentina el consumo de energía primaria es dependiente en un 50% del gas natural y un 39% del petróleo o sus derivados, sumando un 89% de dependencia de recursos fósiles, como indica la Figura 1. El agotamiento de los recursos fósiles, la disminución de las reservas, tanto de gas como de petróleo debería incentivar la búsqueda de soluciones en el ámbito de las energías renovables y de medidas tendientes a un uso racional de los recursos primarios y de la energía final.

### 4. COGENERACIÓN A NIVEL INDUSTRIAL

La obtención de tanto el vector calórico como de trabajo mecánico conduce a procesos separadamente ineficientes. Desde este punto de vista se presenta la cogeneración como

una medida de aplicación inmediata que contribuye al URE, reduciendo significativamente el consumo de recursos. La integración de procesos de conversión impacta en el ahorro de recursos. Dentro de este marco se ha trabajado en tres proyectos de investigaciones acreditados por el UNLP relacionados con este concepto: COGENERACIÓN DE ENERGÍA (11-I-048 y 11-I-070) y USO RACIONAL DE LA ENERGÍA EN EL SECTOR INDUSTRIAL, (11-I-123). El uso racional de recursos fósiles debe formar parte de todo estudio de instalación de un sistema industrial, en particular de sistemas que involucren la demanda tanto del vector energético como del térmico.

En un sistema convencional las pérdidas respecto del recurso primario alcanzan hasta el 65%, mientras que en uno de cogeneración son aproximadamente del 10%, como se indica en la Figura 2.

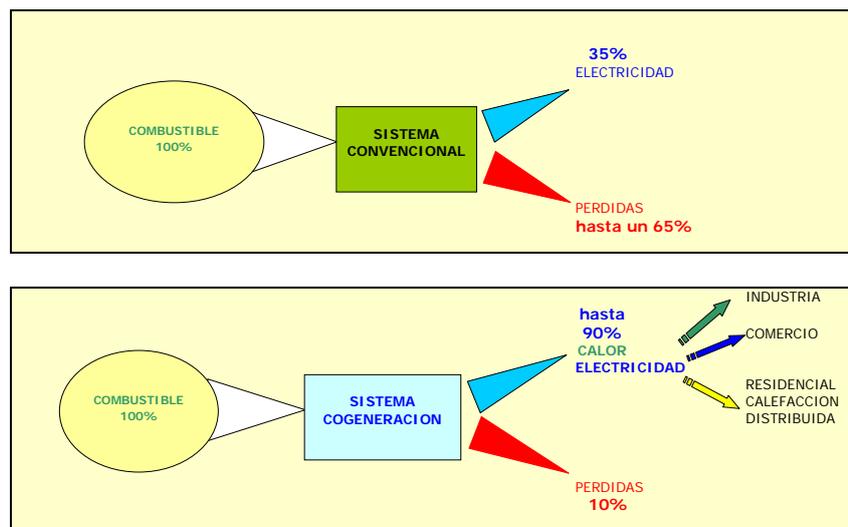


Figura 2. Sistema Convencional y de Cogeneración

La cogeneración es factible, si se dispone de demanda eléctrica y calórica. Toda industria tiene demanda de electricidad y algunas de ellas también del vector calórico. La producción de electricidad no debe necesariamente ser utilizada in situ. En caso de existir excedentes, si se dispone de la infraestructura de transporte y/o distribución los mismos pueden ser inyectados en la red. Por otro lado, la existencia del usuario demandante de calor es pues la condición necesaria e indispensable para la existencia de un proyecto de cogeneración, debido a la limitada transportabilidad del vector térmico. En nuestro País la cogeneración es una práctica poco divulgada en el sector industrial y viene de la mano de periodos de crisis energética o de suministro poco confiable. Una empresa que instalara un sistema de cogeneración podría obtener beneficios, como ser: ganancias por venta de excedentes, sin sobrecostos por demanda excedente a la demanda base, sin paradas de producción por cortes programados, reducción de costos, reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, etc.

Según el actual Marco Regulatorio una empresa que decidiera cogenerar en su planta industrial, generación tanto térmica como eléctrica debe inscribirse en el MEM como *Autogenerador*, de acuerdo a las definiciones y disposiciones del Mercado Mayorista Eléctrico [1], que define Autogenerador como aquel agente que produce energía eléctrica como producto secundario, siendo su producción principal la de bienes y/o servicios. El *Cogenerador* como aquel agente que se dedica generar conjuntamente energías térmica y eléctrica para su posterior comercialización, es decir que su única actividad debe ser la de abastecer de energía a otras empresas y no la de abastecerse a sí mismo para su producción industrial. Al inscribirse como Autogenerador no se obtienen los beneficios de un

Cogenerador, sobre todo ante la declaración de los costos específicos de operación. Aunque los Cogeneradores no obtienen ningún beneficio frente a los Generadores, en realidad se los trata como Generadores cuando el fin de la cogeneración no debe ser el negocio principal de ninguna empresa (salvo las de ciclo combinado), sino una utilización racional de los recursos y disminución de emisión de gases contaminantes. El marco regulatorio actual no distingue al cogenerador que produce energía para su propio consumo y la venta de excedentes, haciendo un uso racional de los recursos primarios.

La cogeneración, si bien no constituye la solución total del problema, es una medida de aplicación inmediata que contribuye a la misma reduciendo significativamente el consumo de recursos, y un concepto que es aplicable en algunos de los sistemas del futuro, priorizando el concepto del URE. Se requiere la modificación del marco regulatorio y reconocer al cogenerador industrial como un agente nuevo, el cual debiera ser fomentado ya que hace un uso más racional de los recursos fósiles. El programa PRONUREE prevé ese cambio, y es esperable que se tomen las medidas en forma adecuada así como crear fomentos específicos para el cogenerador industrial.

El mercado de los denominados *bonos de carbono* premia el uso industrial de tecnologías limpias que ayuden a frenar el proceso de calentamiento global del planeta, siendo el instrumento acordado y ratificado por 157 países, con el aval de las Naciones Unidas, en el marco del Protocolo de Kyoto [4]. Este pacto internacional refleja la preocupación de las naciones industrializadas por los perjuicios que causan sus industrias a la atmósfera. Estas naciones comprometen a reducir emanaciones tóxicas un 5,2%, promedio, por debajo de los niveles de 1990. Dado que Argentina ha suscripto este pacto es esperable que inicie medidas de ayuda/fomento en este ámbito, teniendo presente que todo sistema de cogeneración disminuye notablemente las emisiones de gases de efecto invernadero.

## **5. DESARROLLO SUSTENTABLE**

Como se ha mencionado anteriormente, se observa la falta de desarrollo sustentable en el sector tanto industrial como residencial. Si bien existe la Coordinación de Eficiencia Energética (EE), que tiene por objetivo la definición de políticas y programas que promuevan el uso eficiente de la energía, en la actualidad no se observan planes específicos en lo que respecta al uso racional de los recursos primarios, dado que la generación eléctrica es en gran medida producida a partir de combustibles fósiles, una reducción del consumo implica por un lado consumir menos recursos no renovables, y por otro reduce la emisión de gases de efecto invernadero con el consiguiente beneficio ambiental, [1;2].

Se han promulgado leyes que fomentan la inserción de energías renovables en el esquema energético nacional. En este aspecto la Ley 26123 , Régimen para el desarrollo de la tecnología, producción, uso y aplicaciones del hidrógeno como combustible y vector de energía, que incentiva la aplicación de tecnologías que permitan la utilización de hidrógeno, promoviendo la participación privada en generación y producción de hidrógeno y el desarrollo de la industria. Por otro lado, la Ley N° 26190, Fomento para el uso de fuentes renovables para la producción de electricidad, establece como meta para el año 2016, en que el 8% del consumo de electricidad nacional deberá ser abastecido con energías renovables, incluyendo a todas las fuentes alternativas y sólo limitando a las hidroeléctricas hasta 30MW. Esta norma recientemente sancionada es complementaria a la 25019, que sólo promovía la eólica y solar.

## **6. ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE INSTALACIÓN**

Dentro del marco de aplicación de la cogeneración como una medida de URE se ha trabajado en proyectos aprobados por la UNLP, COGENERACIÓN DE ENERGÍA (11-I-048

y 11-I-070) y en forma indirecta el USO RACIONAL DE LA ENERGÍA EN EL SECTOR INDUSTRIAL, (11-I-123), en los cuales se ha hondado en estos temas y desarrollado técnicas de análisis de optimización y de prefactibilidad de instalación de sistemas de cogeneración a industrias demandantes.

La cogeneración en nuestro País no se fomenta por diferentes razones. Por un lado el elevado monto de la instalación y por otro, el bajo costo actual de la energía y una regulación que no presenta incentivos ante un uso racional del recurso primario. Una forma de tornarlo factible es la utilización de los créditos por reducción de emisiones por el régimen del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), [3].

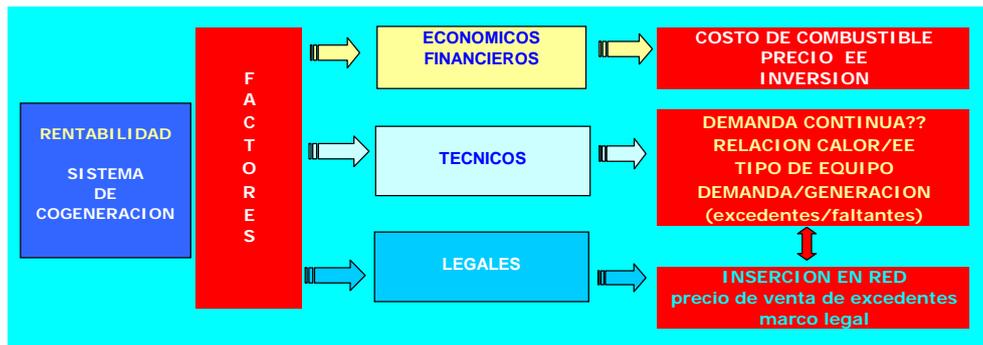


Figura 3 Rentabilidad de un Sistema de Cogeneración

La cogeneración, si bien no constituye la solución total del problema, es una medida de aplicación inmediata que contribuye a la misma reduciendo significativamente el consumo de recursos, priorizando el concepto del URE. La factibilidad de implementación de sistemas de cogeneración depende de una cantidad de factores genéricos y específicos: económicos /financieros, técnicos (diseño y operación), y legales o regulatorios, [3;4]. En la Figura 4 se esquematizan factores que modifican la rentabilidad de un sistema de cogeneración.

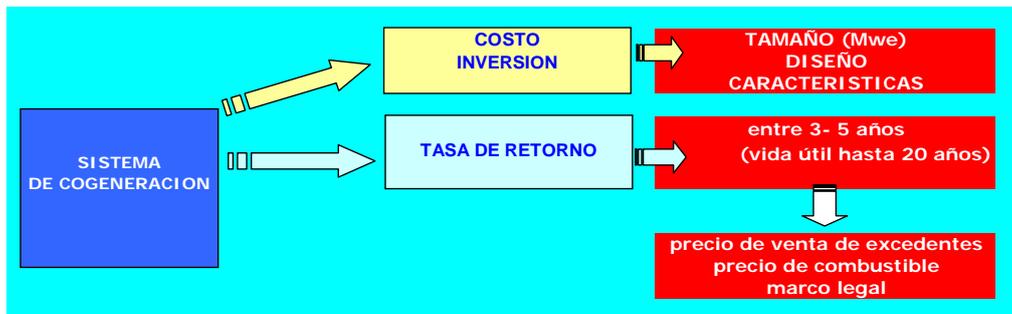


Figura 4 Rentabilidad de un Sistema de Cogeneración

Cada planta constituye un caso particular y debe estudiarse en detalle. El costo de inversión depende del tamaño (potencia eléctrica/caudal de vapor generado), de las características de diseño /operación, dependiendo fuertemente de la tasa de retorno de la inversión y de la posibilidad y precio de los excedentes generados y del combustible utilizado, Figura 4.

Motivados por la crisis energética que sufrió nuestro País, a partir del año 2007 varias industrias comenzaron a generar su propia energía, ya sea en forma parcial o total. El diseño de un sistema de cogeneración no es sencillo ya que depende fuertemente de la demanda de electricidad y de vapor. En general para suplir la demanda de vapor, la turbina requerida supera ampliamente las demandas energéticas de la planta. En nuestro País, la elección del sistema agrega un factor adicional, ya que debe analizarse la potencialidad del

equipamiento y su versatilidad para el uso de combustibles alternativos ante la escasez e indisponibilidad de gas natural en el periodo invernal. Para industrias pequeñas a medianas, se sugiere la alternativa de un sistema con turbina de vapor TV a condensación con una extracción, variando el caudal de la misma según el caudal de vapor inyectado a Planta, esquematizado en la Fig. 5.

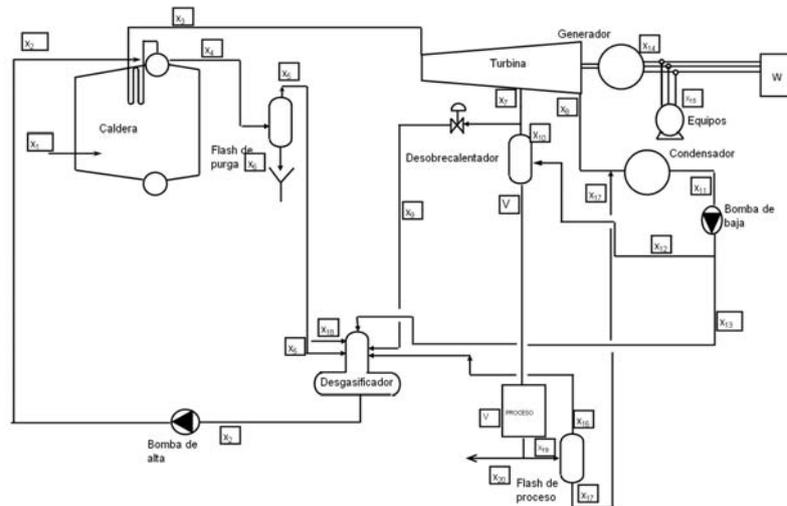


Figura 5. Sistema de Cogeneración Propuesto

Este modelo ha sido propuesto para una fábrica textil con demanda fluctuante de vapor. Asimismo ha sido adaptado a una fábrica de papel reciclado. La extracción es función de la demanda de vapor en el proceso de Planta y la energía generada se debe determinar en función de las características del sistema propuesto, pudiendo suministrar la energía eléctrica demandada por la Planta en forma parcial o total. Se estudió asimismo la alternativa de generar excedentes de energía eléctrica, los cuales podrían ser inyectados a la red interconectada y de esta forma obtener una renta adicional por la venta de los mismos. Cabe señalar que esta alternativa implica un mayor costo de inversión, dependiendo en este caso del análisis económico-financiero la factibilidad económica del mismo, [6].

El análisis del sistema existente planteó la necesidad de estudiar diferentes escenarios, modificando el suministro de vapor y de energía eléctrica del sistema de cogeneración, pudiéndose generar excedentes, dependiendo del sistema de cogeneración a instalar. Se plantearon diferentes escenarios posibles para el sistema de cogeneración a instalar, satisfaciendo la demanda de vapor y/o electricidad en forma total o parcial. La caldera deberá generar mayor caudal de vapor que el demandado por Planta con el sistema convencional monopropósito, ya que parte del mismo es utilizado para la generación de energía eléctrica. El caudal de extracción se fija por la demanda de la Planta de Proceso, según los escenarios planteados.

En el escenario I el sistema a instalar satisface tanto la demanda eléctrica como térmica. En el escenario II la generación de vapor se ajusta al valor promedio, mientras que en los escenarios III a VI a la demanda base de vapor en Planta. En estos últimos casos la generación satisface parcialmente la demanda de vapor en Planta, debiéndose generar vapor adicional por el sistema de calderas convencionales existentes. En los tres primeros escenarios el suministro de energía eléctrica del sistema de cogeneración se ajustará a la demanda máxima de Planta de 3,7 MW. Los escenarios IV, V y VI surgieron a raíz de analizar la posibilidad de generar la energía no respaldada según Resolución 1281/06. Suponiendo que la base de energía del año 2005 es de 2,4 MW, la energía faltante estaría

en el rango de 1 a 1,5 MW. Para estos escenarios se fija la generación de vapor en el valor Base de 11 ton vapor/h.

El análisis económico, el cual no se detalla en el presente trabajo, involucra el cálculo del costo de la energía eléctrica, considerando la energía generada y la compra de electricidad faltante según el escenario considerado [6].

Tabla 1. Resultados de las corridas

Escenario	Caudal de vapor de extracción		Caudal de caldera ton vapor/h	Turbina TV MW	Combustible		Inversión Mio. US\$
	máxima	promedio			GN m <sup>3</sup> /h	FO kg/h	
I	máxima	20	35	3,7	3111	2708	3,6
II	promedio	17	32		2966	2457	3,4
III	base	11	28		2606	2157	3,2
IV			14	1,0	1340	1118	1,5
V			16	1,3	1506	1258	1,7
VI			17	1,5	1615	1347	2

En la Tabla 1 se indican resultados de las corridas para los seis escenarios seleccionados, considerando gas natural GN o fuel oil FO. En los mismos no se incluyen corridas considerando excedentes de electricidad generada para ser inyectados en la red. El consumo de gas se incrementa respecto el sistema convencional, pero representa un ahorro dado que la electricidad inyectada de la red conduce a costos sustancialmente menores al utilizar gas natural. El sistema permite la utilización de quemadores duales (GN, combustible líquido). Se consideró la generación de energía eléctrica sin generar excedentes eléctricos. Los primeros tres escenarios duplican aproximadamente el costo de inversión respecto de los restantes, pero estos últimos son inferiores pero implican la generación de la electricidad correspondiente a la Energía Plus. El análisis se complementa con un estudio exergético, si bien resulta de escaso interés para las industrias y con la posibilidad de certificar por reducción de emisiones.

## 7. COGENERACIÓN Y MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO

El protocolo de Kyoto tiene por objetivo minimizar las emisiones GEI a nivel mundial, creando el Mercado de certificados de reducción de emisiones CER. El incremento de actividades que generan gases de efecto invernadero es la causante del cambio climático. Las ventajas de un sistema de cogeneración para una industria son la posibilidad de operar sin estar sujetos a cortes programados y sin sobrecostos por demanda de excedente respecto de la base. Dado que es una tecnología que reduce la combustión del recurso primario, siempre reduce por ende las emisiones de gases de efecto invernadero GEI, [7].

En el caso de instalaciones grandes cabe la posibilidad de certificar por el Mecanismo de Desarrollo Limpio MDL y acreditar certificados de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero CER. Los países incluidos en el Anexo I se comprometen a reducir en el periodo 2008-2012 sus emisiones GEI en promedio un 5% por debajo del nivel del año 1990. Un CER es equivalente a 1 metro cúbico de dióxido de carbono equivalente. En este mercado internacional nuestro país tiene una pequeña participación en comparación con otros países de Latinoamérica. Proyectos de gran escala que incorporen la cogeneración son dables de acreditar CERs. Esta certificación por MDL permite la reducción de costos y/o tasas de retorno, siendo fuertemente dependiente del precio de los CER. A principios del 2006, precisamente en junio, se cotizaba a 30 euros/ton CO<sub>2</sub>, bajando drásticamente a 5 euros/ton CO<sub>2</sub> en octubre del mismo año. Actualmente los valores rondan los 2 euros/ton CO<sub>2</sub>; esta evolución de precios no fomenta directamente la instalación del sistema, [7].

Dentro de este marco se trabajó en el Proyecto BIRF No. TF51287/AR, PARA ESTUDIO SOBRE MITIGACIÓN DE EMISIONES A TRAVÉS DE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DENTRO DEL MARCO DE “Actividades Habilitantes para la Segunda Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático”, [1], otorgado al IDEHAB Facultad de Arquitectura, UNLP en el periodo 2005-2006 en el cual hemos participado en el análisis de medidas de URE en el sector industrial. Esta participación dio origen posteriormente al Proyecto USO RACIONAL DE LA ENERGÍA EN EL SECTOR INDUSTRIAL, (11-I-123), mencionado anteriormente.

## 8. CONCLUSIONES

El objetivo del presente trabajo es comentar actividades realizadas por el grupo en la última década, en lo referido a estudios de URE en el sector industrial. Dentro de este ámbito se han realizado diferentes acciones, dentro de las cuales cabe mencionar proyectos relacionados con la cogeneración y el uso racional de la energía en el sector industrial.

El Uso Racional de los Recursos Energéticos es un concepto que no se valoriza adecuadamente en nuestro País, a pesar de la imperiosa necesidad de su aplicación dado el agotamiento de los recursos no renovables y la contaminación del medio ambiente por procesos de conversión de recursos fósiles. La cogeneración, generación simultánea de ambos vectores energéticos, valoriza el concepto del URE, practica que en el sector industrial de nuestro País está poco divulgada. La integración de procesos de conversión impacta en el ahorro de recursos. La instalación de un sistema de cogeneración en una planta industrial depende fuertemente de las demandas, pudiendo acreditarse bonos CER.

## REFERENCIAS

- [1] A. Fushimi y M. I. Sosa, Proyecto BIRF TF51287/AR, *Actividades Habilitantes para la Segunda Comunicación Nacional de Argentina a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Estudio sobre Mitigación de Emisiones a través de Medidas de Eficiencia Energética, Cogeneración en el sector industrial*, La Plata, 2005.
- [2] M. I. Sosa y A. Fushimi, *La Utilización Racional de los Combustibles, una Responsabilidad no valorada debidamente en nuestro País*, 6º Congreso Latinoamericano de Generación y Transporte de la Energía Eléctrica, Mar del Plata, Argentina, Noviembre, Artículo A-102, 2007.
- [3] M. I. Sosa, *La Cogeneración y el Efecto Invernadero*, I CAIM 2008, Primer Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica, 2008, FoDAMI, octubre, Bahía Blanca, 2008.
- [4] M. I. Sosa, A. Fushimi, R. Pedernera, A. Adradas y M.S. Rodriguez, *Cogeneration and Clean Development Mechanism*, Proceedings of 19th International Congress of Mechanical Engineering, Vol. 1, Brasilia, Brasil, Paper COBEM2007-2277, 2007.
- [5] M. I. Sosa, *El Uso Racional de la Energía y la Cogeneración en Argentina*, 8th Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission - Clagtee 2009, Ubatuba – Brasil, octubre, Paper 82, 2009.
- [6] M. I. Sosa, R. Pedernera, *Modelo para la Instalación de un Ciclo de Cogeneración*, CAIP 9º CONGRESO INTERAMERICANO DE COMPUTACIÓN APLICADA A LA INDUSTRIA DE PROCESOS, noviembre, Montevideo, 2009.
- [7] M. I. Sosa, *El Uso Racional de la Energía en Sistemas Industriales II* CAIM 2010, Segundo Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica, FoDAMI, noviembre, San Juan, 2010.