



*Ministerio de Ciencia, Tecnología  
e Innovación Productiva*

Secretaría de Planeamiento y Políticas en Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva

## SECTOR ENERGÍA

### **PERFIL DE PROPUESTA: DESARROLLO DE EQUIPOS Y SISTEMAS INTEGRADOS PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES.**

#### **1. Antecedentes**

El Uso Racional y Eficiente de la Energía (UREE) abarca todas las acciones que se realizan en las diversas etapas del quehacer energético para optimizar su uso, partiendo de los recursos, pasando por los servicios, hasta llegar al nivel de los consumidores. En otras palabras, es el manejo planificado, desde el punto de vista técnico-económico, de la energía requerida para la producción o la prestación de un servicio y que concede especial atención a la protección del medio ambiente. El consumo de energía es el último eslabón de una cadena de decisiones y acciones, por lo que es necesario su análisis dentro del contexto social donde ocurre. En particular para el Sector Industrial las medidas de UREE significan tanto la implementación de políticas dentro de una empresa o parque industrial, como la sustitución de fuentes de energía, empleando las energías renovables para reemplazar en la medida de lo posible las no renovables (principalmente hidrocarburos), desarrollando modificaciones y hasta cambios en los procesos, equipos de generación más eficientes e interacción entre diferentes tipos de industrias para convertir desechos de unas en recursos energéticos de otras.

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático (IPCC) se prevé [1] que las emisiones globales de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) resultantes del sector industrial crezcan a 3,5-6,2 GtC [2] para 2020, y 3,1-8,8 GtC para 2050. Consideran que hay grandes posibilidades de reducir los GEI producidos por los combustibles fósiles y los biocombustibles aumentando el rendimiento energético de procesos industriales, el uso de sistemas coordinados en las empresas que hacen un uso más eficiente de materiales, producción combinada de calor y energía, y calor en cascada.

---

[1] Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Tecnologías, políticas y medidas para mitigar el cambio climático. Documento técnico I (1996) y III (2007) del IPCC .

[2] GtC/año. Emisión de 10<sup>9</sup> toneladas de Carbono por año.



*Ministerio de Ciencia, Tecnología  
e Innovación Productiva*

Secretaría de Planeamiento y Políticas en Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva

La Unión Europea (UE) ha establecido en el Plan de Eficiencia Energética 2011<sup>[3]</sup> reducir el 20 % el consumo de energía primaria, siendo los objetivos de su Estrategia Energía 2020:

- promover una economía que respete los recursos del planeta;
- crear sistemas que genere pocas emisiones de dióxido de carbono;
- mejorar la independencia energética de la UE;
- reforzar la seguridad del abastecimiento energético.

Para alcanzar estos objetivos, la Comisión Europea propone para el sector industrial fomentar la construcción de nuevas capacidades e infraestructuras de producción para sustituir a los antiguos equipos y ajustarse a los requisitos de la *Directiva del régimen de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero*<sup>[4]</sup> y de la *Directiva sobre las emisiones industriales*<sup>[5]</sup>. Asimismo, considera crucial instaurar un sistema eficaz de recuperación de las pérdidas de calor derivadas de la producción de electricidad y de producción industrial, así como valorizar el principio de cogeneración. La Comisión también propone crear instrumentos que permitan aportar un valor financiero al ahorro energético en este sector, en especial en las PYMES, realizando auditorías energéticas regulares obligatorias.

La Comisión también propone crear instrumentos que permitan aportar un valor financiero al ahorro energético y vincular los beneficios de los servicios de distribución (relación entre proveedores y distribuidores) con la eficiencia energética y no con el volumen de energía suministrada. Por último, el Plan prevé reforzar la eficiencia energética en el sector de la industria y, en concreto, de las pequeñas y medianas empresas (PYME) europeas, estableciendo que las auditorías energéticas regulares deben ser obligatorias.

El Programa de Tecnologías Industriales (Industrial Technologies Program-ITP<sup>[6]</sup>) del Departamento de Energía (DOE) de EE.UU., tiene como objetivo incrementar la eficiencia energética de la industria de ese país, que es llevado a cabo en conjunto con las industrias a través de investigación, desarrollo y despliegue de tecnologías innovativas que las compañías pueden usar para

---

[3] Communication from the Commission to the European Parliament, The Council, The European Economic and Social Committee and The Committee of the Regions. Energy Efficiency Plan 2011

[4] Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de octubre de 2003, por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad y por la que se modifica la Directiva 96/61/CE del Consejo

[5] Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de noviembre de 2010, sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación)

[6] [http://www1.eere.energy.gov/industry/saveenergynow/pdfs/supply\\_chain\\_2\\_pager.pdf](http://www1.eere.energy.gov/industry/saveenergynow/pdfs/supply_chain_2_pager.pdf)

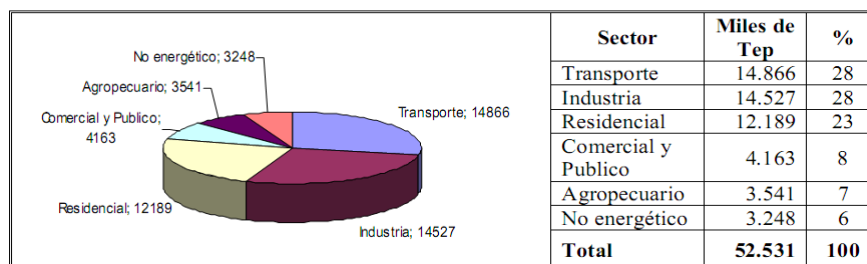


*Ministerio de Ciencia, Tecnología  
e Innovación Productiva*

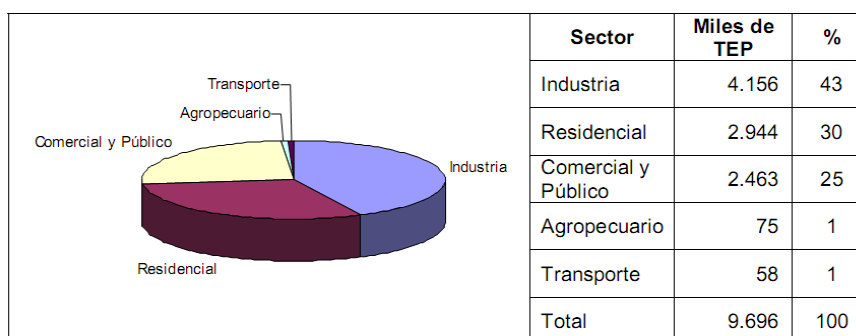
Secretaría de Planeamiento y Políticas en Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva

incrementar la productividad reduciendo el consumo energético, reducir la emisión de dióxido de carbón y ganar en competitividad. El DOE trabaja junto a otras Agencias de EE.UU. como la Agencia de Protección Ambiental-EPA (Green Supplier Network, Energy Star, and Climate Leaders Programs) y el Departamento de Comercio (Manufacturing Extension Partnership and Sustainable Manufacturing Initiative) para llevar a cabo el programa.

En la República Argentina el sector Industria, sobre todo en las pequeñas y medianas industrias (PYMES), presenta un campo amplio de investigación y desarrollo en lo referente a UREE, tanto en la gestión integral del balance energético y exergético, y en algunas líneas de los procesos y equipos en sí, como en toda la cadena completa de producción, que lleve llevaría a una disminución de sus consumos energéticos. Como se observa en la Figura 1, el consumo total de energía es del 28% del total a nivel país, representando el 43% del consumo total de electricidad (Figura 2) y el 38% del consumo total de gas en red (Figura 3).



**Figura 1:** Consumo de energía total por sectores. Elaboración propia

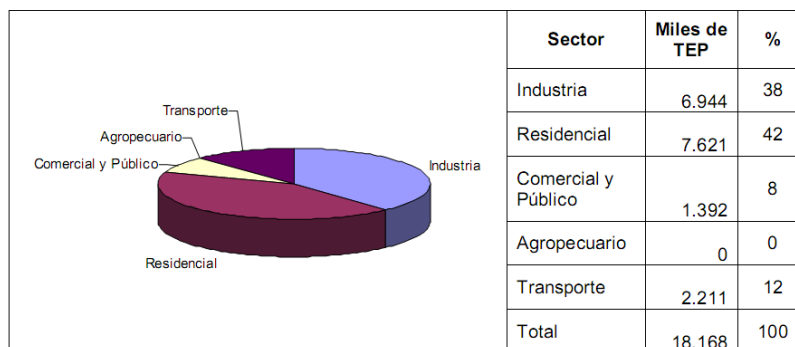


**Figura 2:** Consumo de electricidad por sectores. Elaboración propia



*Ministerio de Ciencia, Tecnología  
e Innovación Productiva*

Secretaría de Planeamiento y Políticas en Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva



**Figura 3:** Consumo de gas distribuido por redes para diferentes sectores.  
Elaboración propia

Existen industrias, complejos industriales y parques Industriales distribuidos en todo el territorio nacional con un significativo potencial de ahorro energético. El UREE se aplica a industrias grandes, medianas y pequeñas, en especial aquellas con importante demanda térmica, en toda su cadena productiva. No obstante, actualmente las empresas industriales en general no aplican sistemáticamente los conceptos, las técnicas y las tecnologías de integración energética en sus procesos y operaciones, siendo la integración energética entre industrias prácticamente inexistente. En particular las medianas y pequeñas industrias no cuentan con suficiente cantidad de recurso humano capacitado en este tipo de análisis.

Existen herramientas adecuadas de análisis de las demandas energéticas, con algunos especialistas con conocimiento de termoeconomía, pero el sector receptor del UREE (salvo industrias grandes) no tiene recursos humanos suficientemente calificados en esta temática.

El acceso al conocimiento de CyT en las empresas es bueno solamente en industrias grandes y con consumos térmicos importantes, las cuales disponen de recursos humanos aptos para recibir las técnicas y tecnologías del UREE. En industrias pequeñas y medianas es muy escaso este acceso, a veces nulo, así como la disponibilidad de recursos humanos para su incorporación. La realización de consultorías y las consultas al sistema de CyT de las PYME es pobre.

A través del Decreto 2247/85 la Secretaría de Energía de la Nación desarrolló el “Programa URE en la pequeña y mediana industria” consistentes en diagnóstico de consumos de energía, que se llevó a cabo a través de los Grupos de Estudios Sobre Energía (G.E.S.E.) de la Universidad Tecnológica Nacional-UTN; se realizaron 450 evaluaciones financiadas por la SE en el período de 5 años. Algunos de estos grupos GESE siguen operando actualmente, realizando diagnósticos energéticos a cargo de los interesados.



*Ministerio de Ciencia, Tecnología  
e Innovación Productiva*

Secretaría de Planeamiento y Políticas en Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva

Existe una posibilidad concreta de articulación entre los sectores públicos y privados en el UREE. Al respecto, el Proyecto "Incremento de la Eficiencia Energética y Productiva en la Pequeña y Mediana Empresa" (PIEEP – Secretaría de Energía y Agencia Alemana de Cooperación Técnica – GTZ) llevado cabo en 1999 es un antecedente muy valioso. La debilidad es que dicha articulación no es espontánea y se debe provocar con esfuerzo. Al respecto, son muy escasos los especialistas en gestión de la innovación y transferencia de tecnología en el tema de UREE.

En general los instrumentos actuales públicos de fomento no estimulan la integración energética. Como marco regulatorio general existe el Decreto Nº 140/2007, que dio origen al Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PRONUREE), el que declara de interés y prioridad nacional el uso racional y eficiente de la energía.

Como parte del programa PRONUREE la Unión Industrial Argentina junto con la Secretaría de Energía está llevando adelante el "Proyecto de Eficiencia Energética" formado por dos etapas; la primera Experiencia Piloto en desarrollo, consiste en el diagnóstico energético de 25 empresas pertenecientes a distintos sectores y regiones del país, las cuales cubrieron el 10 % del costo del trabajo, siendo el 90% restante aportado por una donación del Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF - DONACION TF092377) realizada a la SE. Actualmente se está difundiendo el llamado a la segunda etapa donde se programa realizar el diagnóstico de alrededor de 400 empresas.

## **2. Identificación del problema**

Los sistemas térmicos se caracterizan por sufrir importantes interacciones de trabajo y/o calor con el entorno, así como intercambio de masas en forma de corrientes, incluyendo mezclas químicamente activas. Los sistemas térmicos aparecen en casi todas las industrias y su diseño implica la aplicación de principios correspondiente a la termodinámica, mecánica de fluidos, transferencia de calor, así como la consideración explícita de la ingeniería económica puesto que los costos es un aspecto importante a tener en cuenta. Esto se aplica para la optimización del diseño y operación de los sistemas térmicos y se emplea la denominación de Termoeconomía a las metodologías empleadas para estos estudios, que mediante una aplicación integrada y rigurosa de la economía y la termodinámica, proporciona una herramienta muy potente y rigurosa para el análisis, la evaluación y la optimización de sistemas industriales. Su utilización se extiende tanto al diseño de nuevas plantas como al análisis de instalaciones existentes -para diagnosticar y valorar las deficiencias- y la evaluación de mejoras, ampliaciones o modificaciones. Esta metodología establece un uso racional y eficiente de la energía (UREE) en el sector industrial.



*Ministerio de Ciencia, Tecnología  
e Innovación Productiva*

Secretaría de Planeamiento y Políticas en Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva

En el análisis termodinámico tradicional de sistemas industriales se viene aplicando básicamente el Primer Principio de la Termodinámica. Este principio establece que la energía no se crea ni se destruye, sino que simplemente se transforma. Por tanto, la energía perdida por un sistema en un proceso cualquiera es igual a la ganada por su entorno. Este hecho permite formular balances de energía, que son muy útiles, por ejemplo, para valorar las pérdidas de calor de un sistema. Los balances energéticos manejan como equivalentes las diversas formas de energía. Sólo importan sus valores y no su mayor o menor utilidad. Para realizar un análisis correcto es necesario conocer la capacidad de producir trabajo útil de cada flujo energético de un sistema. Esa capacidad viene medida por la exergía, cuya determinación rigurosa requiere la aplicación del Segundo Principio de la Termodinámica.

La Termoeconomía considera los costos específicos de energía aprovechable [\$/kJ] e índices de optimización [kJ totales/kg de producto], los cuales se analizan para alcanzar la optimización energética en los sistemas térmicos, y se utiliza principalmente para la contabilidad, diagnóstico, mejora, diseño y optimización de sistemas industriales. Se considera que la Termoeconomía es el punto en que el segundo principio de la Termodinámica se complementa con la Economía y Ecología.

Para la aplicación práctica es necesario introducir nociones básicas de exergía [calidad de energía que acompaña su conversión de una forma a otra] en los sistemas térmicos y realizar el análisis correspondiente utilizando como herramienta la segunda ley de la Termodinámica. La exergía explica las diferencias en calidad física entre distintas formas de energía. La exergía es la cantidad máxima física que se puede extraer de un dado flujo de energía.

Es sabido que en toda instalación industrial se debe procurar minimizar el consumo de energía y otros recursos, así como la producción de efluentes y residuos. Estos últimos no son siempre consecuencias inevitables de su funcionamiento. Cuanto menos eficiente es una planta, más residuos genera, y recíprocamente. Los efluentes y residuos no producidos, por ser la planta más eficiente, ahorran costosos equipos de depuración y aminoran su impacto ambiental.

La cascada térmica, que comprende la captura y reutilización secuencial de calor a menos temperatura para fines apropiados, requiere un enfoque ecológico industrial en el que se vinculen varios procesos industriales y las necesidades de acondicionamiento de espacio y agua, y para lograr los máximos beneficios puede ser necesaria la cooperación entre compañías y la inversión conjunta de capital.

Existen en el país industrias, complejos industriales y parques Industriales distribuidos en todo el territorio nacional con un significativo potencial de ahorro energético. El UREE se aplica a industrias grandes, medianas y pequeñas, en



*Ministerio de Ciencia, Tecnología  
e Innovación Productiva*

Secretaría de Planeamiento y Políticas en Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva

especial aquellas con importante demanda térmica, en toda su cadena productiva. No obstante, actualmente las empresas industriales en general no aplican sistemáticamente los conceptos, las técnicas y las tecnologías de integración energética en sus procesos y operaciones, siendo la integración energética entre industrias prácticamente inexistente.

La falta de integración energética en operaciones y procesos industriales, en la cadena de valor y en parques industriales, se traduce en una pérdida de oportunidades de racionalizar el uso de la energía, de ahorrar recursos no renovables, de disminuir costos de producción y de reducir emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Los sectores industriales y las zonas del país donde es posible aplicar estudios integrales termoeconómicos porque tienen importante demanda y generación de energía térmica, son por ejemplo las de petroquímicas en Bahía Blanca, las aceiteras en Rosario e ingenios azucareros y empresas cítricas en Tucumán. El conocer la verdadera formación de los costos energéticos a través del estudio termoenergético de una cadena, el saber cuáles son los equipos que mayor pérdida de exergía producen, implica un ahorro energético y menor contaminación ambiental que ayuda a la integración de industrias en un polo o parque entre sí y con otras industrias cercanas (por ejemplo una aceitera con una central térmica de generación de electricidad a través del concepto de cogeneración). También el almacenamiento de frío-calor, conducción térmica y recuperación de calores perdidos a baja temperatura (menor a 500°C) por sistemas de almacenamiento de energía térmica en forma de calor latente mediante materiales con cambio de fase (PCM, *Phase Change Materials*), utilización de Tubos de calor (“heat pipes”), Tecnología de bombas de calor, son tecnologías que permiten implementar estas integraciones.

Actualmente hay pocas instituciones académicas desarrollando el tema de termoeconomía (o análisis de exergía), si bien la capacidad de las instituciones académicas permitiría disponer de RR HH que se puede especializar en temas de análisis exergético e integración energética para atender las potenciales demandas del sector industrial.

Hay cabida para aportes de las tecnologías de propósito general (TPG)[7], especialmente en la confección de los modelos computacionales de análisis de diseño y simulación operativa de sistemas térmicos. En particular las tecnologías de la información y las comunicaciones (TICs) pueden significar un sólido apoyo al desarrollo del UREE para el monitoreo en línea de variables vinculadas al consumo térmico.

---

[7] La sigla TPG engloba a la biotecnología, la nanotecnología y las tecnologías de la información y las comunicaciones (TICs).



*Ministerio de Ciencia, Tecnología  
e Innovación Productiva*

Secretaría de Planeamiento y Políticas en Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva

### **3. Descripción de la propuesta**

#### **3.1. Objetivo general**

Disponer de equipamientos, dispositivos y software para el manejo y control inteligente y eficiente de la generación, transporte y consumo de energía térmica en las industrias aglomeradas a través de un estudio termoenergético de su cadena productiva y la posibilidad de interconexión energética entre industrias.

#### **3.2. Objetivos específicos**

1. Desarrollo de Software de simuladores de sistemas de proceso térmico, con su correspondiente equipo de medición, para realizar análisis energético y exergético, por sectores y en su conjunto integrando energéticamente los procesos productivos.
2. Disponer de metodologías específicas para el análisis termoeconómico de sistemas complejos en polos y parques industriales con el desarrollo de un sistema de medición y control inteligente de la cantidad de energía consumida.
3. Investigar nuevos sistemas de almacenamiento de energía térmica.
4. Estudio del mecanismo de transferencia e intercambio de calor de materiales con cambio de fase.
5. Desarrollo de materiales nanotecnológico y diseño de contenedor
6. Desarrollo de nuevos materiales para la construcción de “heat pipe” y de los fluidos utilizados para la transferencia de calor.
7. Desarrollo de sistemas avanzados de intercambio de calor como bomba de calor con mejoras de los componentes, elección adecuada de fluidos de trabajo para incrementar la eficiencia de conversión y aumento de su capacidad.

#### **3.3. Resultados esperados**

1. Disponibilidad de metodologías específicas para el análisis termoeconómico en sistemas complejos en polos y parques industriales.
2. Prototipos con aglomerados de industrias en operación con energía térmica, aplicando metodologías específicas para el análisis termoeconómico.





*Ministerio de Ciencia, Tecnología  
e Innovación Productiva*

Secretaría de Planeamiento y Políticas en Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva

3. Prototipo de un sistema de almacenamiento de energía térmica en forma de calor latente mediante materiales con cambio de fase, de transferencia de calor con tubos de calor (“heat pipes”) y/o tecnología de bombas de calor.