

INCLUSION DE TEMAS RELACIONADOS A ENERGÍAS ALTERNATIVAS EN LA ASIGNATURA TERMODINAMICA PARA LA ENSEÑANZA DE GRADO

María Isabel Sosa¹, Angélica Boucíguez² y Ricardo Lozano²

¹ UID: Generación Energética, Ciclos Combinados, Cogeneración, Uso Racional de la Energía en Sistemas Térmicos (GECCU), Area Departamental Mecánica. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de La Plata.

Avda. 1 y 47, B1900TAG, La Plata, BA, Tel. 0221-423 6692; misosa@volta.ing.unlp.edu.ar

² Consejo de Investigaciones y Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de Salta.

Av. Bolivia 5150. Salta. Tel. 0387-425542; email: bouciga@unsa.edu.ar; lozanor@unsa.edu.ar

RESUMEN: En los contenidos de la asignatura Termodinámica, que se dicta en carreras de Ingeniería y de Ciencias Exactas, se analizan principalmente problemas relacionados con transferencia de masa y/o energía, ciclos termodinámicos de potencia y de refrigeración. En general estos temas se desarrollan en el marco de las energías tradicionales, sin inclusión de las alternativas, que hoy en día constituyen un aspecto importante en la formación de todo profesional. En este trabajo se analizan posibles enfoques y ejemplos a incluir en el tratamiento de los distintos temas que conforman la asignatura, aplicándolo en particular el caso de la enseñanza en Ingeniería Industrial en la UNLP y en la Licenciatura en Física en la UNSa. Se considera importante la inclusión de la temática ambiental y las energías alternativas no solo en carreras mencionadas sino también en otras cuyas temáticas se relacionen con temas energéticos.

Palabras claves: termodinámica, energía convencional, energías alternativas, ambiente.

INTRODUCCION

En los contenidos curriculares de la asignatura Termodinámica, que se dicta en las carreras de Ciencias Exactas e Ingeniería, se analizan problemas relacionados con transferencia de energía, flujos de calor y materia, ciclos termodinámicos de motores, refrigeradores y bombas de calor. Por lo general estos temas se desarrollan en el marco de las energías tradicionales, sin inclusión de las alternativas, que hoy en día constituyen un aspecto importante en la formación de todo profesional, por lo que resulta imprescindible incluir estos contenidos, en especial cuando las energías alternativas no sean temática de la carrera.

Cabe señalar que los autores están involucrados en el dictado de la asignatura, Termodinámica B para las carreras de Ingeniería Industrial e Ingeniería Electricista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata y Termodinámica I para las carreras de Licenciatura en Física y Licenciatura en Energías Renovables de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de Salta. La metodología sugerida en este trabajo sería aplicada a las carreras mencionadas, así como a otras cuyos docentes la crean apropiada.

USO DE ENERGIA Y FUENTES DE ENERGIA

Uso de energía

En la última centuria debido al desarrollo tecnológico, acompañado y/o impulsado por el desarrollo económico y militar, el consumo de energía, esencial en la sociedad, ha aumentado considerablemente. Esto ha provocado a nivel mundial, una utilización despareja de los recursos para cubrir la demanda de energía. Hoy, los países desarrollados o industrializados, que representan el 26% de la población mundial, consumen el 70% de la energía provista comercialmente, mientras que el 30% restante se distribuye entre el resto de la población mundial. En la Tabla 1 se presenta el consumo anual de energía comercial por habitante para algunos países, por continente y el promedio mundial. En ella puede observarse la diferencia considerable de los consumos de energía entre los países más ricos y los más pobres. Canadá es el mayor consumidor, seguido por los Estados Unidos y Japón. Argentina presenta un consumo del orden de la media mundial, con un 18% del consumo del Canadá, duplica el promedio del continente sudamericano, así como el del país vecino de Brasil.

País	Consumo GJ/hab año	País	Consumo GJ/hab año
Canadá	320	Portugal	53
USA	297	México	49
Japón	118	China	24
Francia	116	Brasil	23
Italia	112	India	9
España	73	Haití	1,5
Argentina	57	Camboya	0,8
Promedios			
Oceanía	159	Asia	23
Europa	130	África	12
Sud América	30	Media mundial	60

Tabla 1. Consumo de energía a nivel mundial por habitante y por año. (IEA. Energy Balances of AEDC)

El consumo de energía puede correlacionarse con parámetros indicativos de condiciones y calidad de vida de la población. Generalmente cuanto mayor sea el consumo energético por habitante, tanto mayor será el nivel de vida de la población. Sin embargo, es importante tener presente que al comparar solo cifras globales esta consideración no toma en cuenta el uso racional de la energía en cada país, como tampoco la fuente que la produce y los desechos generados.

Fuentes de energía

Las fuentes de energía se pueden clasificar de diversas formas, (Duffie y Beckman, 2006) a saber:

- Primarias y Secundarias.
- Renovales y No-Renovables.

Las *fuentes primarias* son las provistas por la naturaleza, ya sea en forma directa, como la hidráulica, solar, eólica y oceánica o luego de haber atravesado un proceso que no altera su esencia, como el petróleo crudo, el gas natural, el carbón mineral, los minerales fisiónables y fusionables y la geotermia. La producción primaria del combustible está referida a la cantidad de combustibles extraídos, producidos o reunidos con fines energéticos, evaluado después de eliminar la materia inerte que contienen. Se incluyen los productos de recuperación utilizados por centrales térmicas y los productos animales y combustibles vegetales, en la medida que no hayan sufrido transformación energética. La producción primaria de electricidad es la procedente de centrales de generación hidráulica, geotérmica o nuclear, debiéndose agregar también a la de origen solar y eólico. En estas definiciones no se considera la producción de energía de origen solar y eólico utilizadas directamente, para usos térmicos y mecánicos. El conjunto de fuentes primarias de energía, que se resumen en la Tabla 2, admite una división según estén presentes en la naturaleza en cantidades finitas o sean de carácter renovables.

Tipo de fuente		Origen	Tipo de fuente		Origen
Carbón Petróleo Gas		Sol	Solar directa Eólica Biomasa Hidráulica		Sol
Nuclear	Fisión	Tierra	Oceánica	Gradiente térmico de las olas	
	Rápida (U233)				
	Fusión				
Geotermia				Mareomotriz	Atracción gravitatoria

Tabla 2. Fuentes primarias de energía según tipo de fuente y origen.

Las *fuentes secundarias* son las producidas a partir de una fuente de energía primaria o secundaria, por medio de un procedimiento físico, químico o bioquímico que modifica sus características iniciales. Se pueden mencionar como tales: coque, carbón vegetal, gas licuado, gasolina, kerosene, diesel, fuel oil, gas de refinería, gas licuado de petróleo, electricidad de origen térmico.

Tanto las fuentes de energía primarias, como las secundarias, excepto las de biomasa, constituyen el grupo denominado fuentes comerciales de energía. Los desechos animales, por su naturaleza, son en buen grado, producidos y consumidos "in situ", sin ingresar al mercado de comercialización.

Las *fuentes renovables* son las que por medio de un uso racional, pueden utilizarse indefinidamente, por lo que el flujo natural de energía es más o menos continuo. Corresponden a este grupo la solar, la eólica y la oceánica y aquellas cuya velocidad de reposición del recurso energético es mayor o igual al uso de la energía por parte del hombre (biomasa, hidráulica). Cabe aclarar que la geotérmica, que generalmente se incluye en este grupo, presenta tanto manifestaciones renovables como otras que no lo son. (De Juana, 2003).

Las *fuentes agotables o no renovables* son las que existen en la naturaleza en cantidades finitas y que su reposición no ocurre nunca (por ejemplo el uranio) o requiere procesos extremadamente largos (de millones de años, como los combustibles fósiles). Dentro de esta clasificación se encuentra el petróleo, el gas natural, el carbón (en sus diversas formas), los elementos fisibles (uranio, torio, plutonio) y los fusionables (deuterio, tritio)

UTILIZACIÓN DE COMBUSTIBLES

Desde su descubrimiento, los combustibles fósiles se han caracterizado por su alta concentración, por su costo de explotación bajo respecto de otras fuentes y por su relativa facilidad de transporte y uso, factores que estimularon su empleo. (Seoanz Calvo, 1999) En las últimas décadas el hombre ha hecho un uso desmedido de estos recursos, mayormente en la generación eléctrica, térmica y en el transporte, los que implican en la mayoría de los casos, el proceso de combustión con generación de óxidos de carbono. (Harrison, 2003) Por otro lado, la industria ha encontrado muchas aplicaciones valiosas tales como plásticos, fibras textiles, fertilizantes y una serie de productos petroquímicos.

La sociedad actual es severamente dependiente de productos de la industria petroquímica. El agotamiento de las reservas propicia en un futuro cercano, la utilización de los hidrocarburos exclusivamente en este rubro, solucionando en gran medida

la demanda del sector de generación y de transporte por medio de fuentes alternativas de energía, no contaminantes, sin generación de desechos con riesgos mayores para el planeta.

La utilización de estos recursos no-renovables principalmente durante el siglo pasado, condujo a una notable disminución de las reservas a nivel mundial, a un ritmo tal que en pocos decenios se agotará el gas natural, en algunas décadas más el petróleo, sumado a la contaminación ambiental causante en gran medida el efecto invernadero. Las predicciones realizadas en los últimos años sobre el consumo de energía vaticinan un gran aumento en el consumo de petróleo, gas natural y carbón, la rápida expansión de la energía nuclear y la inserción de energías renovables.

Asimismo el planeta se encuentra amenazado por una contaminación ambiental, producto de los desechos de combustión de recursos fósiles y del descuido del hombre en la utilización de los recursos naturales. (Seinfeld y Pandis, 1998) En este aspecto cabe mencionar el Protocolo de Kyoto, que propicia la utilización responsable de refrigerantes, la reducción de emisiones de efecto invernadero a través del Mecanismo de Desarrollo Limpio MDL, entre otros.

PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

La industria de la generación eléctrica comenzó en 1882 en Pearl Street en el área de Wall Street (New York) con la central construida por Edison, que constaba de seis calderas a carbón, que enviaban vapor a máquinas alternativas para accionar generadores de continua. La potencia total era suficiente para alimentar a 400 lámparas incandescentes, o sea unos 33 kW. En los comienzos de este desarrollo el objetivo era el suministro descentralizado a grupos de usuarios próximos. La sociedad consideró ventajoso la disponibilidad de energía eléctrica y el suministro se multiplicó rápidamente. (Sosa et al., 2000)

Factores tecnológicos como la introducción de la corriente alterna que permite el transporte de mayores potencias con menores pérdidas y la turbina de vapor con rangos de potencias y confiabilidad superiores a las de las máquinas alternativas desviaron la orientación inicial del desarrollo, incrementando el tamaño de las unidades de generación, en lugar de continuar con el concepto de Edison; así en gran parte del mundo se tendió a la generación centralizada y a una gran red de distribución. Al amparo del principio de la economía de escala, los tamaños de las centrales de generación crecieron por encima de los 1000 a 1500 MW y el suministro de energía se centralizó en una red.

Alrededor del año 1980 este desarrollo comenzó a perder impulso por una cantidad de factores que derivaron en diseconomías de escala:

- necesidad de controlar el impacto ambiental.
- reducida disponibilidad de combustibles adecuados a costos bajos
- incremento del costo de la central y de los costos operativos para limitar la contaminación.
- incremento de los costos de transporte y distribución, y de las dificultades de su crecimiento

A partir de la crisis petrolera en los años 73 y 79 a nivel mundial, se incrementaron notablemente los estudios sobre el uso racional de la energía. (URE) La aparición de nuevas tecnologías de conversión en el mercado como la eólica, fotovoltaica, solar pasiva, celdas de combustible, combustibles derivados de la biomasa, turbinas de gas modernas, ciclo combinado, microturbinas, etc. brindaron nuevas alternativas para la solución de estos problemas.

La electricidad generada en grandes centrales es barata, en comparación con la producida por motores Diesel en zonas aisladas, en unidades pequeñas de 1 a 500 kW, debido a costos de mantenimiento de los motores y al precio del combustible y a su transporte.

La energía eólica resulta costosa en su instalación, pero proporciona una importante cantidad de energía a nivel regional que puede ser distribuida si se conecta a la red. Cabe señalar que se estima que la energía eólica puede contribuir hasta un máximo de un 30% a la generación centralizada, dado que esta generación no es firme, dependiendo de la intensidad de los vientos, provocando fluctuaciones en la red.

La energía solar utilizada para calentamiento de agua o para acondicionamiento térmico de locales destinados a diversos usos (viviendas, escuelas, invernaderos, secaderos, etc.) no requiere transporte alguno ya que se usa directamente donde se la recibe. También genera electricidad, para su uso inmediato como el bombeo de agua o posterior como la iluminación y funcionamiento de equipos debiendo, en este caso, almacenarse en baterías. Sin embargo, este uso se ve condicionado no solo por los costos de los paneles solares, sino también por la cantidad de energía que puede proveer, así como la necesidad de contar con un alternador.

Es así que la energía solar debería ser empleada ampliamente en los próximos años; sumada a las aplicaciones actuales de calefacción y refrigeración de edificios, producción de agua caliente y suministro de calor para el secado de productos agrícolas, e incrementando su empleo a procesos industriales a largo plazo, debería tender a la generación no contaminante de energía eléctrica y a la producción continua de combustibles que sustituyan a los de origen fósil que se usan actualmente.

La radiación solar podría usarse también para producir hidrógeno por electrólisis, el cual podría almacenarse, transportarse por ductos y/o combinarse con anhídrido carbónico para la producción de metanol u otros combustibles que resulten transportables.

GENERACIÓN EN ARGENTINA

Los combustibles fósiles líquidos y gaseosos constituyen el 90% de la matriz energética del país, lo que es preocupante, no solo por la contaminación generada sino también por la no renovabilidad del recurso. La mayor parte de la generación energética es centralizada, con un 40% de origen hidráulico, 51% térmico y 9% nuclear. La generación eólica contribuye con 27 MW, la geotérmica con 0,6 MW y la solar con 26 kW, aunque estas son aisladas. Actualmente el sector industrial con un 33% es el principal consumidor de energía, seguido por el de transporte con un 25% y el residencial con un 21%.

En lo que respecta a los generadores térmicos se utiliza mayoritariamente gas natural, a excepción del periodo invernal de restricción sustituyéndolo por fuel oil o gas licuado de petróleo. En razón de un suministro eléctrico de calidad, bajo costo y totalmente confiable, las industrias a partir de 1992 tendieron a abandonar la auto y la cogeneración y a que su demanda energética fuera suministrada por la red, permaneciendo en las condiciones anteriores solo las pocas industrias no conectadas al sistema. Las industrias pasaron a sistemas energéticos monopropósito (generación de vapor en calderas convencionales y suministro eléctrico por red) con una gran ineficiencia en el sistema de conversión, virtualmente desdiciendo el URE.

USO DE ENERGÍAS RENOVABLES EN ARGENTINA

Generación centralizada

Entre estas fuentes alternativas es importante mencionar la energía hidroeléctrica, cuya explotación implica obras de ingeniería de gran tamaño e inversión. El país cuenta con represas de diferente potencia: Yacretá, Salto Grande, Chocón, Río Tercero, etc. La energía producida se distribuye por tendidos de alta/media tensión, en el sistema interconectado del país, pero lamentablemente no es suficiente para cubrir las necesidades del consumo interno. Al ser de potencia variable depende del régimen de precipitaciones y/o de las centrales instaladas aguas arriba.

También se destaca la energía eólica y la mareomotriz, que ya fuera utilizada ampliamente por el hombre, para mover molinos y accionar equipos mecánicos. Hoy no existe en el país aprovechamiento mareomotriz, mientras que el eólico es limitado. La generación geotérmica alimenta a las localidades de Copahue y Caviahue, siendo la contribución eólica de 27 MW. (CAMMESA, 2007)

Generación descentralizada

El país posee un alto índice de electrificación, (95%) pero una proporción importante de su población rural (30%) carece del servicio.

En lo que respecta a la energía solar y/o eólica, a menor escala, tiene lugar en zonas aisladas con pequeños emprendimientos no conectadas a la red. El Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales (PERMER) financiado por el Gobierno Nacional y llevado a cabo por la Secretaría de Energía de la Nación, tiene como objetivo principal abastecer de electricidad a una parte significativa de población rural y a unos 6.000 servicios públicos de todo tipo (escuelas, centros sanitarios, destacamentos policiales, etc.) que se encuentran fuera del alcance de los centros de distribución de energía. El proyecto tiende a la implementación de mini centrales hidroeléctricas, turbinas eólicas, centrales diesel o híbridas operadas por medios diesel/eólico o diesel/solar o solar/eólico en comunidades pequeñas, así como la instalación de sistemas individuales eólicos y/o fotovoltaicos. El proyecto se ejecuta actualmente en las provincias de Jujuy, Salta, Tucumán, Santiago del Estero, Chaco, Chubut, Catamarca, Misiones, Río Negro, Neuquén y San Juan.

Hoy en día no existen en el país normas regulatorias para la construcción que aseguren el mejor aprovechamiento de los recursos naturales. La Dirección Nacional de Promoción de la Secretaría de Energía ha realizado solo estudios tendientes a determinar consumos y costos de la energía eléctrica en edificios públicos, impulsado por el Programa de Ahorro y Eficiencia Energética en Edificios Públicos. (PAyEEEP)

Leyes vinculadas con las energías renovables

En los últimos años se han sancionado diferentes leyes que impulsan y/o incentivan las energías renovables y el uso racional de la energía. Por un lado, la Ley N° 26190, *Ley de Fomento para el Uso de Fuentes Renovables para la Producción de Electricidad*, establece como meta para el año 2016, que el 8% del consumo de electricidad nacional sea abastecido con energías renovables, incluyendo todas las alternativas y sólo limitando a las hidroeléctricas hasta 30 MW. Esta norma es complementaria a la Ley N° 25019, que sólo promovía la energía eólica y solar. La Ley N° 26093, *Régimen de los Biocombustibles* establece que todo combustible líquido, como las naftas o el diesel oil, deberá tener una mezcla en proporciones crecientes, hasta un mínimo del 5% de biocombustible a alcanzar en cuatro años. La Ley N° 26123 *Régimen para el desarrollo de la tecnología, producción, uso y aplicaciones del hidrógeno como combustible y vector de energía*, incentiva la aplicación de tecnologías que permitan utilizar hidrógeno, promoviendo la participación privada en generación y producción de hidrógeno y el desarrollo de la industria.

USO RACIONAL DE LA ENERGIA Y CONTENIDOS DE TERMODINÁMICA

El URE reconoce dos niveles de problemas, que implican los dos principios de la Termodinámica:

Considerando el *Primer Principio*, el análisis se basa en la cantidad de energía y en la eficiencia energética, sea a través del rendimiento térmico o del coeficiente de operación, para minimizar las pérdidas y reducir consumos superfluos, debidas a deficiencias en los elementos del sistema como aislaciones ineficientes, purgas, no justificables, condensado, quemadores

sucios, válvulas con malos cerramientos, fallas en trampas de vapor, instrumentación de control en mal estado o incorrectamente operados, equipos inadecuados o sobredimensionados, etc.

El *Segundo Principio* analiza la calidad de la energía, apunta a evitar pérdidas que se producen espontáneamente en la mayoría de los procesos reales, denominados “irreversibles”. Un estudio exergético de un dado sistema arroja valores del trabajo útil y de la exergía destruida en el proceso, para optimizar el sistema. Este concepto aplicable en todos los procesos energéticos, enfoca entre otras cosas la atención en el ingreso de energía a través de un flujo de combustible y la transferencia energética al exterior.

El *Programa de Uso Racional de la Energía* (PURE), impulsado por el Gobierno, se encuadra dentro de la primera tipificación; entiende el URE sólo a través de la disminución del consumo energético y no fomenta su calidad. La utilización de energías renovables debiera estar contemplada en todo programa de uso racional, así como un estudio exergético que valore la calidad del sistema.

ASPECTOS CURRICULARES

En razón de lo expuesto, se considera importante que el alumno de grado conozca la situación energética del país, en cuanto a la generación, centralizada y descentralizada, el uso/demanda de combustibles y las perspectivas de generación que se discuten en los países industrializados para este siglo y las prospectivas que se planean en Argentina para la próxima década.

Termodinámica B

Esta asignatura, que se dicta en la UNLP para alumnos de las carreras de Ingeniería Industrial e Ingeniería Electricista, incluye los temas usuales de cursos de Termodinámica y conceptos de Máquinas Térmicas. Sus objetivos son que el estudiante adquiera conocimientos de:

- Principios de la Termodinámica
- Conversión de recursos primarios a vectores energéticos utilizables
- Características operativas de unidades térmicas

y que los aplique en el análisis de:

- Sistemas térmicos para plantas industriales
- Adecuada selección de las unidades según criterios técnicos y económicos
- Ahorro en recursos energéticos según el Primer y Segundo Principio Termodinámicos.
- Generación y utilización del vapor en sistemas industriales

La asignatura corresponde al tercer semestre de la carrera, siendo el único curso donde se imparten conceptos de Termodinámica y sus aplicaciones a máquinas térmicas. Los contenidos se hallan divididos en cuatro unidades

1. Fundamentos de la Termodinámica
2. Recursos energéticos y su conversión a formas utilizables
3. Características operativas y selección tecno-económica de unidades térmicas
4. Nuevas perspectivas en la generación energética

En las tres primeras unidades se consideran los principios termodinámicos y su aplicación a sistemas de potencia/refrigeración/cogeneración. Se analizan en particular la utilización del vapor en plantas industriales y los recursos según principios del URE desde el punto de vista energético y exergético. En la última se discuten temas relacionados con la energía basada en el hidrógeno, la cogeneración con celdas de combustibles y la generación eólica, geotérmica y solar. En forma sucinta se presenta un análisis comparativo de la generación energética en el país, información sobre potencias instaladas y de costos de generación.

Se considera importante dentro del desarrollo de la asignatura destacar efectos medioambientales de los procesos de combustión, haciendo hincapié en las emisiones de gases de efecto invernadero, analizando brevemente la posibilidad de generar certificaciones de reducciones de emisiones por MDL, impulsado por el Protocolo de Kyoto (Fushimi y Sosa, 2005). Si bien no es posible dada la duración de la asignatura ahondar en este tema, el alumno debe contar con la información y analizar las formas de mejorar/optimar los sistemas térmicos desde el punto de vista exergético. Por esta razón se considera indispensable estudiar los sistemas de potencia no sólo desde el punto de vista del rendimiento térmico, sino exergético.

Termodinámica I.

Esta asignatura se dicta en la UNSa para alumnos de las carreras de Licenciatura en Física y en Energías Renovables. En ella se dan los contenidos básicos propios de la temática, a saber:

- Sistemas y paredes. Principio cero.
- Primer y segundo principio. Energía y entropía.
- Motor de Carnot. Motores térmicos.
- Aplicaciones a sustancias puras

- Transiciones de Fase. Tercer principio.

En el dictado de Termodinámica I, durante el primer cuatrimestre de este año, se han tratado, como información general, temas vinculados a la problemática energética, la contaminación y la utilización de energías alternativas, observándose el interés por parte de los alumnos en el tratamiento y la discusión de estos temas.

ASPECTOS METODOLOGICOS EN LA ENSEÑANZA DE LA TERMODINAMICA

El estudiante al finalizar un curso debería tener un enfoque global de las aplicaciones. Actualmente se presta mayor atención al rendimiento térmico de las unidades y/o instalaciones que a un enfoque exergético o medioambiental. Por ejemplo, al tratar temas relacionados con la generación de calor, usualmente se consideran calderas convencionales que operan con gas natural, fuel oil o gas oil. Debería incluirse asimismo ejemplos de generadores de vapor operando con residuos agrícolas y biomasa, entre otros. El estudiante debe confrontarse con la utilización de recursos renovables, analizando sus ventajas, desventajas y costos. Por lo general, se presta poca atención a la formación de productos contaminantes durante la combustión de hidrocarburos y los riesgos que este proceso acarrea al ambiente con la emisión de gases de efecto invernadero, causantes del calentamiento global del planeta.

Procesos recuperativos de calor deben incluirse en el desarrollo de la asignatura, no limitado éste al análisis de calderas de recuperación en ciclos combinados. Se pueden emplear también a menor escala en sistemas industriales, haciendo uso de las entalpías residuales.

Otro tema que debería ser tratado en más detalle es la cogeneración, o sea la generación de los vectores energéticos (electricidad, calor y/o frío) a partir del mismo recurso primario, como indica la Figura 1, (Cengel, 2006). La aplicación de este concepto permite ahorros energéticos que pueden llegar a un 30- 40% dependiendo del tamaño de la instalación. Utilizar un sistema de cogeneración, de tipo multipropósito, implica la disminución de emisiones de dióxido de carbono respecto de dos sistemas monopropósito. Esta mitigación de emisiones lleva a disminuir el efecto invernadero. Instalar un sistema de cogeneración implica un costo elevado de inversión, el que puede ser ayudado por la certificación de reducción de emisiones CER, de acuerdo al Mecanismo de Desarrollo Limpio MDL impulsado por Naciones Unidas, (Fushimi y Sosa, 2005).

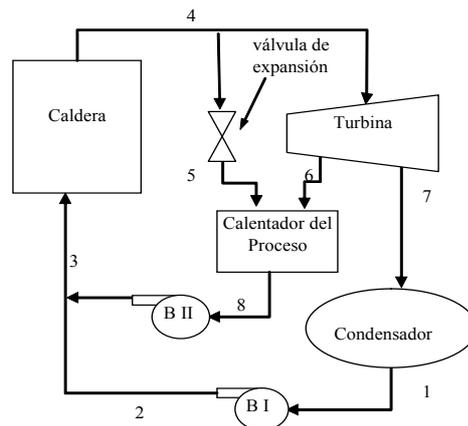


Figura 1- Sistema de cogeneración con turbina de vapor para aplicaciones industriales

El conocimiento de este nuevo mercado debe incluirse en la formación del estudiante. A título informativo en la Tabla 3 se presenta una estimación de reducciones anuales promedio para algunos países latinoamericanos. Argentina ocupa el 2º lugar, después de Brasil, como potencial desarrollador de proyectos MDL.

Reducciones CO ₂ equivalentes (millones toneladas)			
Brasil	18.167.693	Perú	1.129.413
Argentina	4.080.078	Uruguay	251.213
Chile	3.973.232		

Tabla 3 – Reducción anual promedio de emisiones de dióxido de carbono

En las carreras mencionadas en este trabajo, el enfoque que se realiza en la enseñanza de ciclos de potencia incluye:

- Ciclos de vapor (Rankine simple, regenerativo, con sobrecalentamiento y recalentamiento)
- Ciclos de gas (motores de dos y cuatro tiempos, Brayton simple, regenerativo y modificaciones)

Este enfoque no incluye la tendencia actual del uso de hidrógeno en la generación energética. Sin quitar estos contenidos debería incluirse sistemas térmicos a hidrógeno. La tendencia actual en los países desarrollados es incorporar sistemas con celdas de combustible a la generación energética, tanto centralizada como descentralizada y la utilización de hidrógeno en el transporte vehicular. La ventaja de estos sistemas radica en el proceso de combustión. Los hidrocarburos producen óxidos de carbono al combustionarlos con aire en unidades tales como calderas, cámaras de combustión, etc. Al utilizar hidrógeno el

producto es vapor de agua, sustancia no contaminante del medio ambiente. Esta temática debería ampliarse con la utilización de celdas de combustible en sistemas híbridos, así como en motores de combustión a hidrógeno.

En la Figura 2 se indica el mejoramiento de la eficiencia térmica de un sistema de turbina de gas TG moderna (30-40%) con el de una celda de combustible de alta temperatura (40-60%) y de un sistema de ciclo combinado con TG y celda de combustible, alcanzando eficiencias del 85%.

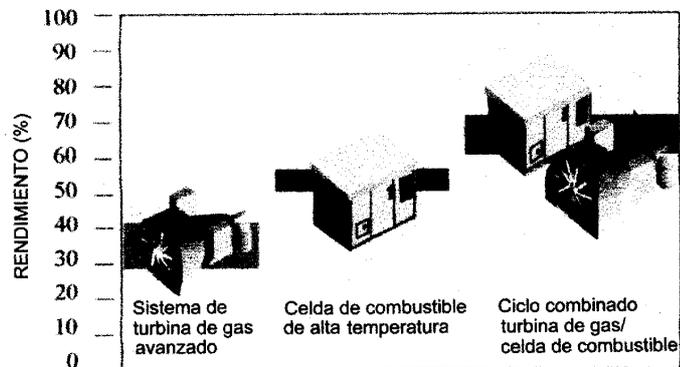


Figura 2- Rendimientos térmicos de sistemas con turbina de gas, celda de combustible y ciclo combinado con celdas de combustible.

En los países desarrollados se prevé una transición importante a sistemas a hidrógeno y a energías renovables para mediados de este siglo, como indica la Figura 3. Como se ha mencionado, la Ley N° 26123, incentiva la aplicación de tecnologías que permitan utilizar hidrógeno. No obstante, nuestro país se halla muy retrasado en este tipo de aplicaciones. Se considera que en la formación de grado deben incluirse estos conceptos.

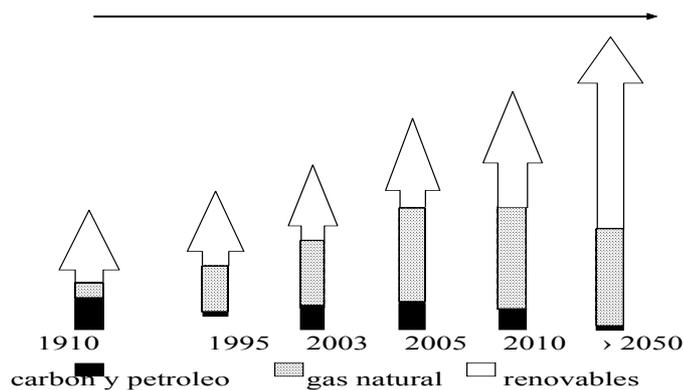


Figura 3- Evolución prevista de la implementación de tecnologías de hidrógeno con disminución de la producción de dióxido de carbono.

En la selección de unidades térmicas debe hacerse hincapié en el uso racional de recursos primarios y en el enfoque exergético. La incorporación de la energía eólica o solar para generación energética combinada a ciclos de refrigeración con sistemas de absorción binaria, como el amoniaco-agua, es un buen ejemplo de aplicación. (Cengel, 2006). Es de destacar las aplicaciones planteadas por Levenspiel (1997) en su libro *Fundamentos de la Termodinámica*, donde presenta ejemplos de aplicación con inclusión de energías renovables, como el de una planta de potencia compacta para utilizar desechos agrícolas al analizar ciclos de vapor o el caso de una estación de potencia mini-OTEC (conversión de energía térmica del océano) para el estudio de ciclos termodinámicos. En la Figura 4 presenta como ejemplo, una bomba de calor que utiliza la diferencia térmica entre el agua del fondo de un lago y el ambiente para calefactar una vivienda.

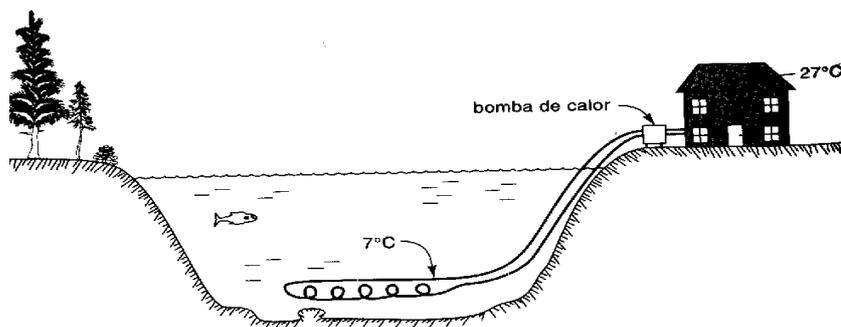


Figura 4- Bomba de calor

Estos son solo ejemplos que pueden plantearse en la enseñanza de Termodinámica, pues ayudan al estudiante a comprender los fundamentos y sobre todo a incursionar e interesarse por la problemática ambiental.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se analizan las fuentes de energía y la utilización de combustibles que la producen. La matriz energética de Argentina es en un 90% dependiente de combustibles no renovables, siendo la generación en un 40% de origen hidráulico, 51% térmico y 9% nuclear. La contribución de la energía eólica es de 27MW, la geotérmica de 0,6MW y la solar de 26 kW. Se mencionan las leyes promulgadas de energías renovables y se espera un aumento en la participación de ellas en el balance energético nacional. Se hace hincapié en el Uso Racional de la Energía URE que reconoce dos niveles de problemas según los principios termodinámicos.

Se presentan las metodologías de enseñanza de la asignatura Termodinámica que se dictan en la UNLP y en la UNSa. Se considera importante la inclusión de la temática ambiental y las energías alternativas en todas las carreras especialmente en aquellas no relacionadas directamente con temas energéticos. Se presentan ejemplos de aplicación de las energías renovables en la enseñanza de grado.

REFERENCIAS

- Çengel, Y y Boles, M. (2006) Termodinámica, Ed. Mc. Graw Hill, Méjico.
- De Juana, J. (2003) Energías Renovables para el Desarrollo, Thomson Editores Spain Paraninfo, S.A, España.
- Duffie, J y Beckman, W. (2006) Solar Energy Thermal Processes, John Wiley & Sons.
- Fushimi A. y Sosa, M. I. (2005) Proyecto BIRF No. TF51287/AR, “Actividades Habilitantes para la 2° Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático”. Estudio sobre Mitigación de Emisiones a través de Medidas de Eficiencia Energética, La Plata, Argentina.
- Harrison, R. (2003) El Medio Ambiente. Introducción a la Química Ambiental y a la Contaminación, Editorial ACRIBIA, S.A: España.
- Levenspiel, O. (1997) Fundamentos de la Termodinámica, Latinoamericana Prentice Hall Co. Méjico.
- Seinfeld, J and Pandis, S. (1998) Atmospheric Chemistry and Physics from Air Pollution to Climate Change, John Wiley & Sons, Canadá.
- Seoanz Calvo, M. (1999) Ingeniería del Medio Ambiente Aplicada al Medio Natural Contaminante. Ed. Mundi – Prensa. España.
- Sosa, M.I. y Fushimi, A.(2000) La Cogeneración en el Contexto de las Tecnologías de Conversión Energética del Futuro, AVERMA, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 4, N° II, pp. 07.01/.06, ASADIT- Argentina.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se desarrolló en los marcos de los Proyectos de Investigación: Uso Racional de la Energía en el Sector Industrial, (11-I-123) de la UID: Generación Energética, Ciclos Combinados, Cogeneración, Uso Racional de la Energía en Sistemas Térmicos (GECCU-UNLP) y del Proyecto N° 5150 del Consejo de Investigaciones de la UNSa, a quienes agradece su financiamiento.

INCLUSION OF TOPICS RELATED TO ALTERNATIVE ENERGIES IN AN UNDERGRADUATE COURSE OF THERMODYNAMICS

ABSTRACT: Exercises related to mass and/or energy transfer, power and refrigeration thermodynamics cycles are principally analyzed in undergraduate courses of Thermodynamics for students of Engineering and Exact Sciences. Generally, these subjects are developed using traditional energy, without including the alternative ones, though nowadays they constituted an important aspect to be included in any professional in practice. Possible methodical aspects and examples about these themes are presented in this article, to be applied in the specific case of the courses for undergraduate students of Industrial Engineering in the UNLP and Physics Licenciante in the UNSa that the environmental thematic and the alternative energy are important in the mentioned courses and in all other related with energetic aspects.

Keywords: thermodynamics, conventional energy, alternative energy, environment.