

UNIVERSIDAD PARA TODOS

Curso Energía y Cambio Climático

PARTE 2

Precio: 1.00

ISBN 978-959-270-178-6



Í N D I C E

Parte 2

FUENTES RENOVABLES A PARTIR DE MANIFESTACIONES DIRECTAS DE LA ENERGÍA SOLAR / 2

- Características básicas de la bioenergía / 2
- Energía solar fotovoltaica / 3
- Energía solar térmica / 3
- Aprovechamiento pasivo de la energía solar / 3

FUENTES RENOVABLES A PARTIR DE MANIFESTACIONES INDIRECTAS DE LA ENERGÍA SOLAR / 4

- Energía eólica / 4
- Energía de las mareas / 4
- Energía de las olas / 4
- Conversión de la energía del gradiente térmico oceánico / 4
- Energía hidráulica / 4

GENERACIÓN DISTRIBUIDA Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA / 5

- Generación Distribuida / 5
- Almacenamiento de energía / 5

USO RACIONAL Y EFICIENTE DE LA ENERGÍA / 6

- Programa de eficiencia energética en Cuba hasta el 2020 / 6
- Estrategia Nacional para el Ahorro y la Eficiencia Energética 2010-2015 / 7

ENFRENTAMIENTO AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SECTOR DEL TRANSPORTE / 7

- Breve historia del transporte / 7
- Modos de transporte / 7
- Emisiones de los medios de transporte / 7
- Medidas organizativas para reducir las emisiones de GEI / 8
- Medidas tecnológicas para reducir las emisiones de GEI / 8

ENERGÍA NUCLEAR: UNA FUENTE ENERGÉTICA ALTERNATIVA PARA ENFRENTAR EL CAMBIO CLIMÁTICO / 8

- La energía nuclear y el calentamiento global / 8

ENERGÍA GEOTÉRMICA / 9

CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO (CAC) / 9

- Situación actual de la tecnología de CAC / 10
- Fuentes actuales y características del CO₂ / 10

LA GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO EN TEMAS ENERGÉTICOS: UNA HERRAMIENTA PARA ENFRENTAR EL CAMBIO CLIMÁTICO / 10

MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO / 11

- Antecedentes / 11
- Mecanismo de Desarrollo Limpio y los mecanismos cooperativos / 11
- Implementación del MDL en Cuba / 12

IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN CUBA / 12

ENFRENTAMIENTO AL CAMBIO CLIMÁTICO / 13

- Programa integral cubano frente al cambio climático / 13
- Adaptación al cambio climático / 14
- Mitigación del cambio climático / 14

LA REVOLUCIÓN ENERGÉTICA DE CUBA Y EL ENFRENTAMIENTO AL CAMBIO CLIMÁTICO / 14

- Situación anterior a la Revolución Energética / 14
- Programas de la Revolución Energética / 14
- Programa de uso racional de la energía / 15
- Programa para la promoción y desarrollo de las fuentes renovables de energía y la eficiencia energética / 15
- Programa de transformaciones del sistema eléctrico nacional / 15
- Resultados de la Revolución Energética / 15

BIBLIOGRAFÍA / 16

FUENTES RENOVABLES A PARTIR DE MANIFESTACIONES DIRECTAS DE LA ENERGÍA SOLAR

El sol puede satisfacer todas nuestras necesidades energéticas si aprendemos cómo aprovechar de forma racional la energía que continuamente vierte sobre nuestro planeta. Para aprovechar la energía solar se emplean diferentes sistemas de captación y transformación que se desarrollan con el avance de la ciencia y la tecnología. La energía solar posee como principales ventajas su elevada calidad, su carácter distribuido y su relativamente bajo impacto ambiental. Tampoco se puede bloquear.

La radiación solar directa, el viento, la corriente de los ríos y la biomasa, más que alternativas, son la única solución posible a las exigencias energéticas de nuestro país y el mundo de cara al desarrollo sostenible. Todo el consumo mundial de energía se puede cubrir con el empleo de la energía solar en las diferentes variantes de su aprovechamiento.

Casi toda la energía solar que llega a la Tierra se transforma en energía térmica; 76% calienta la atmósfera y es devuelta al espacio, 23% mantiene el ciclo hidrológico y cerca del 1% restante causa los vientos y las corrientes oceánicas. Una fracción muy pequeña de la energía solar que incide sobre la Tierra (0,02%) se emplea en la fotosíntesis, la cual permite el crecimiento de la vegetación y de las cosechas. La energía solar no llega por igual a todas las regiones del planeta. Nuestra zona geográfica se beneficia con una alta incidencia de radiación solar. Cada metro cuadrado del territorio cubano recibe diariamente como promedio anual 5 kWh de energía solar, equivalente a la energía acumulada en medio litro de petróleo.

La energía solar se manifiesta tanto de manera directa como indirecta y se puede utilizar para calentar agua, secar productos o producir vapor y generar electricidad. Las manifestaciones directas de la energía solar dan lugar a tres fuentes renovables de energía: la bioenergía basada en la captación, transformación y acumulación de la radiación solar a partir de la fotosíntesis, la energía solar fotovoltaica basada en el efecto fotovoltaico que convierte la luz del sol en electricidad y la energía solar térmica basada en la energía térmica que transporta el flujo solar que se puede aprovechar para generar electricidad, secar productos y otros servicios energéticos. Por otro lado, la arquitectura bioclimática consiste en el aprovechamiento pasivo del flujo solar. No es una fuente de energía, pero permite garantizar el confort en las edificaciones ahorrando electricidad y combustibles.

Características básicas de la bioenergía

El análisis de la bioenergía comprende tres conceptos esenciales: la biomasa, los biocombustibles y la bioenergía propiamente. Biomasa es la abreviatura de masa biológica. Es el conjunto de la materia orgánica de origen vegetal o animal y los materiales que proceden de su transformación natural o artificial. Ejemplos de biomasa:

- Cultivos energéticos, productos del manejo del bosque sin valor comercial y plantaciones energéticas.
- Bagazo, paja de caña, marabú, aserrín, residuos de aserraderos.
- Cáscara de arroz, afrecho de café, residuos agrícolas, ganaderos y forestales.
- Aceites vegetales, crudos o usados.
- Excretas animales (porcino, vacuno, avícolas, etc.).
- Residuos sólidos urbanos.

Los biocombustibles son los combustibles orgánicos primarios y secundarios o no, derivados de la biomasa que se pueden utilizar para obtener energía térmica por combustión o mediante otro proceso. Por otro lado la bioenergía es la energía procedente de la biomasa. Comprende todas las formas de energía derivadas de combustibles orgánicos utilizados para pro-

COORDINADORES DEL CURSO

Lic. Mario Alberto Arrastía Avila

Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (CUBAENERGÍA).

Lic. Ricardo Bérriz Valle

Centro de Desarrollo Local (CEDEL).

COORDINADOR DEL TABLOIDE

Lic. Mario Alberto Arrastía Avila

Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (CUBAENERGÍA).

AUTORES

- Lic. Mario Alberto Arrastía Avila (CUBAENERGÍA-CUBASOLAR)
- DrC. Luis R. Paz Castro (INSMET)
- MSc. Alejandro González García (CUBAENERGÍA)
- DrC. Tomás Gutiérrez Pérez (INSMET)
- Ing. Maykel Hernández Toledano (DURE-UNE)
- DrC. Alfredo Curbelo Alonso (CUBAENERGÍA)
- MSc. Martha Amarales Contreras (CETRA-MITRANS)
- Lic. Julio Torres Martínez (OCCyT-CUBASOLAR)
- DrC. Gisela Alonso Domínguez (AMA)
- DrC. Iván Relova Delgado (CUBAENERGÍA)
- DrC. José Villarroel M. Castro (CETRA-MITRANS)

MSc. Antonio Vladimir Guevara Velazco (INSMET)
MSc. Ernesto Paz Ortega (CUBAENERGÍA)

COLABORADORES

- Ing. Marta Alicia Contreras Izquierdo, CUBAENERGÍA.
- DrC. Ing. Sergio Corp Linares, CUBAENERGÍA.
- Ing. Daniel López Aldama, CUBAENERGÍA.
- Lic. Barbarita Valdés Valdés, CUBAENERGÍA.

INSTITUCIÓN COORDINADORA

Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (CUBAENERGÍA), perteneciente a la Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada, Ministerio de Ciencia, tecnología y Medio Ambiente.

GRUPO DE EDICIÓN EDITORIAL ACADEMIA

Edición y corrección editorial: Lic. Dulce María García Medina
Diseño y tratamiento de imágenes: Marlene Sardiña Prado

ISBN: 978-959-270-178-6 (Parte 2)
ISBN: 978-959-270-176-2 (Obra completa)

2010, "Aniversario 51 del Triunfo de la Revolución" ACADEMIA



ducir energía. Igual que para el resto de los combustibles, la combustión completa de los biocombustibles tiene como únicos productos el dióxido de carbono y el vapor de agua.

Cuando las plantas crecen fijan el carbono de la atmósfera mediante el proceso de fotosíntesis. Al usarlas como combustible se emiten las mismas cantidades de carbono que ellas fijaron. Esto cierra un ciclo de fijación del carbono (Figura 1) que no altera la concentración de este en la atmósfera.

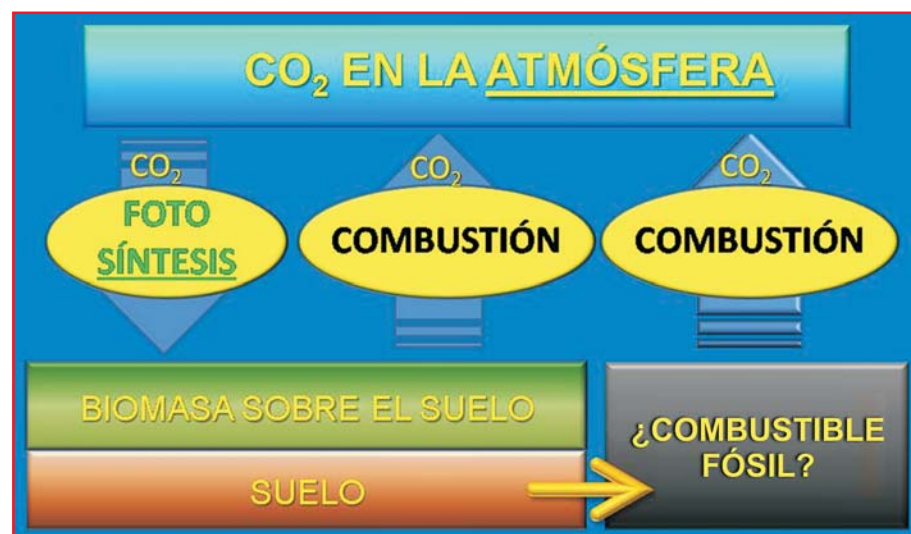


Fig. 1. Ciclo del carbono.

Según sea el tipo de biocombustibles empleado así serán sus aplicaciones. Los sólidos se utilizan en la generación de electricidad y como combustible en hornos y calderas y se pueden desmenuzar, pulverizar o astillar. También se les puede compactar en pellets, briquetas o pacas. Los biocombustibles líquidos sustituyen gasolina y diesel mediante mezclas. El etanol es un producto de la fermentación anaeróbica y el biodiesel se obtiene por medio de reacciones de transesterificación de aceites vegetales o grasa animal. Por último, los biocombustibles gaseosos se utilizan en el accionamiento de motores de combustión interna y como combustible en hornos y calderas. Tenemos el biogás que se obtiene a partir de la fermentación anaeróbica de materiales orgánicos y el gas de madera obtenido a partir de la gasificación o descomposición térmica de la biomasa.

Sin embargo, utilizar la biomasa exige un análisis detallado, porque al ser parte integral de la cadena alimentaria su empleo para obtener cualquiera de los biocombustibles está sujeto a restricciones socioambientales, ya que su producción está vinculada con la disponibilidad de tierras fértiles, agua y la obtención de alimentos.

Energía solar fotovoltaica

Se denomina energía solar fotovoltaica a la energía radiante del sol que se transforma en energía eléctrica mediante el empleo de celdas fotovoltaicas. El efecto

fotovoltaico consiste en la generación de una fuerza electromotriz (diferencia de potencial o tensión eléctrica) en un dispositivo semiconductor debido a la absorción de la radiación luminosa y al conectarse a un circuito eléctrico circula una corriente eléctrica.

A la interconexión de varias celdas fotovoltaicas se le llama panel fotovoltaico; un grupo de paneles da lugar a un módulo (Figura 2). El módulo conjuntamente con las baterías que almacenan la energía eléctrica, el inversor, el convertidor y los cables, forman un sistema fotovoltaico. Se estima que la cantidad de energía eléctrica generada con tecnología fotovoltaica representa 0,1% de la demanda de energía primaria mundial. Al final del 2008 la potencia fotovoltaica acumulada globalmente fue 15,2 GW_p y 90% se hallaba conectada a la red.

La mayor central fotovoltaica del mundo está en Portugal con una potencia instalada de 62 MW_p, posee 350 000 paneles fotovoltaicos y evita el envío a la atmósfera de 60 000 toneladas de CO₂ al año.

Las primeras instalaciones fotovoltaicas de impacto social en Cuba fueron los 460 consultorios del médico de la familia, electrificados en áreas rurales a partir de 1987. Hasta el año 2007, un total de 1864 salas de televisión y video se han electrificado con paneles solares para el disfrute de la población rural en zonas de difícil acceso. Asimismo, 2361 escuelas rurales se electrificaron en el marco del Programa Audiovisual con cerca de 5000 instalaciones para la iluminación, televisión, video y uso de computadoras.

Energía solar térmica

Se denomina energía solar térmica a la energía solar que se transforma en otras formas de energía a través del calentamiento. La radiación solar transporta energía térmica a la Tierra. Existen varias formas de captar la energía térmica de la radiación solar. Para ello se pueden emplear materiales sólidos conocidos como superficies absorbedoras o sustancias en estado líquido o gaseoso que son los fluidos térmicos. Las aplicaciones del aprovechamiento de la energía solar térmica se clasifican en dependencia de la temperatura que se requiera alcanzar. Para obtener temperaturas superiores a 100 °C se deben utilizar sistemas que concentren la energía solar. Estos sistemas se emplean en instalaciones para generar energía eléctrica.

Las actuales instalaciones de secado solar tienen sus antecedentes en el secado natural al sol; una práctica muy antigua, cuyo objetivo era mantener los alimentos secos para utilizarlos en temporadas en las que no se cosechaba. Este se puede realizar con la energía solar, ya que muchos productos

se secan sin perder sus propiedades, utilizando aire a temperaturas entre 40-60 °C. La energía térmica acumulada en el interior del secador que permite mantener estas temperaturas se debe al efecto invernadero. Los productos que se deseen secar se ubican sobre bandejas dispuestas en la cámara de secado y se ponen en contacto con el aire caliente encargado de evaporar el agua. Es importante conocer que cada material tiene una temperatura y un tiempo de secado característico.

El calentamiento de agua con energía solar es una aplicación muy extendida por su fácil introducción en las edificaciones y por su aporte al ahorro de energía. Existen varios diseños de calentadores como los planos, los integrados o compactos y los de tubos al vacío (Figura 3). Según la Agencia Internacional de la Energía, la potencia solar térmica en operación a finales del año 2007 en el mundo ascendió a 146,8 GW_t, lo que corresponde a más de 209 millones de metros cuadrados de superficie colectora. Ello impide enviar a la atmósfera decenas de millones de toneladas de CO₂.

En Cuba, la mayoría de la población calienta agua para el aseo personal y mayoritariamente se emplea electricidad para satisfacer este servicio. Ello implica generar 855 GWh al año y quemar 190 mil toneladas de combustible fósil. En este proceso se emiten 600 mil toneladas de GEI que se evitarían, empleando calentadores solares.

Aprovechamiento pasivo de la energía solar

El aprovechamiento pasivo de la energía solar abarca un conjunto de técnicas y materiales que permiten aprovechar directamente la energía solar, teniendo en cuenta el clima local. Estas técnicas permiten la utilización inmediata o el almacenamiento de energía, sin requerir sistemas mecánicos ni otros aportes de energía. También se usan para la protección contra los efectos indeseados de la radiación solar.

Observando las edificaciones de diferentes épocas se perciben afinidades entre la arquitectura y el clima, particularmente las relacionadas con la protección y aprovechamiento de los rayos solares a partir de la propia ubicación de la vivienda y con la utilización de elementos arquitectónicos. El uso de claraboyas y de paredes con bloques de vidrio fundido para aprovechar la iluminación natural y la disposición de los espacios interiores que facilitan la circulación del aire para lograr una adecuada ventilación natural, son ejemplos que demuestran también la relación entre clima y arquitectura. La sombra viva que se produce por la vegetación es otro de los elementos que incorpora el aprovechamiento pasivo de la energía solar.

La arquitectura de los tiempos modernos se fue apoderando cada vez más de las tecnologías y dejó de considerar los valores medioambientales y la racionalidad en el uso de la energía. En nuestro país se presta poca atención a los materiales de construcción que se deben utilizar de acuerdo con el clima local y se cometen errores al trasladar a nuestras condiciones, exce-



Fig. 2. Módulo fotovoltaico (Fuente: internet).



Fig. 3. Calentador solar de tubos al vacío (Foto: Mario A. Arrastía Avila).

lentes proyectos desarrollados en otros países con climas diferentes sin previo análisis medioambiental. Se realizan además construcciones acristaladas en paredes que reciben la radiación directa del sol, sin tener en cuenta el clima. Enclaustrar una terraza, utilizando vidrios trae como resultado la elevación de la temperatura del local debido al efecto invernadero.

Los edificios que aprovechan la energía solar de un modo pasivo existen en diferentes partes del mundo, pero a su desarrollo no se le da la importancia requerida. Se estudian nuevos materiales, características ópticas de superficies, ventanas, tipologías constructivas, programas informáticos de simulación y manuales de cálculo para constructores. Se deberá trabajar en la evaluación energética integral de las edificaciones, con el objetivo de obtener índices energéticos que permitirán realizar diseños eficientes y amistosos con el entorno.

FUENTES RENOVABLES A PARTIR DE MANIFESTACIONES INDIRECTAS DE LA ENERGÍA SOLAR

Energía eólica

La energía del viento es una manifestación indirecta de la energía solar. Es la tecnología energética renovable que más se ha expandido en los últimos años, compitiendo con tecnologías convencionales no renovables como las que usan combustibles fósiles y la nuclear. En el 2009 las turbinas eólicas generaron 350 TWh, 2% de la energía eléctrica producida en el planeta.

Estados Unidos de América ocupa el primer lugar en el ranking eólico. Su potencia eólica instalada supera hoy los 35 GW. La Asociación Americana de Energía Eólica asegura que ese país evitó, aprovechando la energía eólica, la emisión de 36 millones de toneladas de CO₂ en el 2008. La República Popular China ocupa el segundo lugar mundial.

La tecnología eólica califica entre las más limpias de todas las tecnologías energéticas, pues durante su uso no se emiten gases de efecto invernadero, no se producen residuos tóxicos, ni se necesita agua para enfriamiento como en las centrales térmicas. En el 2020 el empleo de la energía eólica para generar electricidad evitará la emisión de 10 mil millones de toneladas de CO₂ al año en el mundo.

Los hipercríticos de la tecnología eólica señalan que los aerogeneradores son ruidosos, matan a las aves, no ayudan a combatir el cambio climático, no producen más energía que la que se invierte en fabricarlos, y que a la gente no les gustan. Según la Asociación de Energía Eólica de Canadá, hoy los aerogeneradores se fabrican bajo estrictas normas que garantizan muy bajos niveles de ruido. Respecto a las muertes de aves, es cierto que ocurren pero al instalar cada parque eólico se hacen estudios de impacto ambiental que incluyen la interacción de estas con las turbinas.

Un parque eólico como el de La Isla de la Juventud (1,65 MW) puede evitar la emisión anual de más de 1200 toneladas de GEI (Figura 4). Un aerogenerador produce entre seis meses y un año como promedio, la energía invertida en su fabricación y continúa generando electricidad durante 20 a 25 años. En cuanto al impacto visual este es una cuestión de gustos. A muchos les satisface saber que esas enormes máquinas generan electricidad sin emitir humo y que la energía que usan no se puede bloquear.

El primer parque eólico cubano se yergue como firme demostración de las potencialidades del viento en Cuba para producir electricidad. Se ubica en Isla Turiguanó, provincia de Ciego de Ávila y tiene dos máquinas de 225 kW.

Un resultado de la Revolución Energética es el despegue del empleo de la energía del viento para producir electricidad. Cuando se concluya la instalación del parque «Gibara 2» llegaremos a 11,7 MW. En diez años podríamos tener instalados varios cientos de megawatt, de un potencial que los cálculos más conservadores sitúan en 2000 MW. El impacto de los huracanes es,

sin duda, el factor más complejo en el aprovechamiento de la energía eólica.



Fig. 4. Parque eólico «Los Canarreos», Isla de la Juventud.

Energía de las mareas

Las mareas se deben a la atracción gravitatoria del sol y la luna sobre la Tierra. En el siglo XII aparecieron los primeros molinos para moler granos, utilizando esta fuente de energía en las costas de Francia, España e Inglaterra.

La energía mareomotriz es aprovechable en sitios donde el desnivel entre ambas mareas supere los 3 m. Globalmente, la energía de las mareas se estima en 22 mil TWh y se podría aprovechar 0,1%. Gran parte del potencial aprovechable de energía mareomotriz lo poseen Francia y el Reino Unido, aunque otros países exploran esta posibilidad.

Existen instalaciones comerciales que convierten la energía de las mareas en electricidad. La mayor está en El Rance, Francia (240 MW). Produce 500 GWh al año con un desnivel de mareas de 8 m. La otra está en la Bahía de Fundy, Canadá (20 MW) y produce unos 30 GWh al año. En este sitio se registran las mayores mareas del mundo con un desnivel de 16 m. Hay instalaciones demostrativas en China (5 MW) y Rusia posee una de 400 kW. En Noruega se conectó por primera vez a la red eléctrica un generador anclado al lecho marino para aprovechar las corrientes de marea. La turbina submarina de 300 kW y 120 toneladas de masa genera 700 MWh al año. En el 2008 se instaló en Irlanda del Norte la mayor turbina submarina del mundo que aprovecha las corrientes de marea, tiene una masa de mil toneladas y un diámetro de rotor de 16 m. De probarse su factibilidad técnica y económica, se podrían aprovechar las corrientes de marea que ocurren en algunas bahías de bolsa como la de Nuevitas.

Energía de las olas

Las olas se deben a la acción del viento sobre la superficie del mar, por lo que son impredecibles y eso dificulta captar su energía. Los antecedentes de su aprovechamiento se remontan al siglo XIX. Hoy existen boyas marítimas cuyo suministro eléctrico es a partir de la energía de las olas. Sin embargo, esta energía puede proveer electricidad comercial, como los generadores «Pelamis» y las «Boyas Eléctricas».

El primer «parque undimotriz» se comenzó a instalar en la costa de Portugal a base de generadores Pelamis de 750 kW (Figura 5).



Fig. 5. Sistema «Pelamis» para la producción de energía eléctrica a partir de la energía de las olas (Fuente: internet).

El Pelamis consta de secciones cilíndricas parcialmente sumergidas y unidas adecuadamente. Las olas mueven las secciones y eso hace funcionar motores hidráulicos acoplados a un generador eléctrico. La boya eléctrica es un convertidor que se sumerge más de un metro, dentro tiene un pistón y con las sacudidas producidas por las olas, transmite el movimiento a un generador. En ambos casos la electricidad se envía a la orilla mediante un cable submarino. Esta tecnología tiene un relativamente bajo impacto ambiental. Una ventaja de aprovechar la energía de las olas es la capacidad del océano de «almacenarlas», ya que siguen produciéndose después que cesa el viento que las produjo.

Conversión de la energía del gradiente térmico oceánico

El mar es el mayor colector solar natural del mundo y un formidable almacén de energía. La absorción de la energía solar ocurre cerca de la superficie, y se crea una diferencia de temperatura respecto a las aguas más profundas. La conversión de la energía térmica del océano (OTEC en inglés) en energía útil, se realiza empleando máquinas térmicas. Estas trabajan a partir de la diferencia de temperatura entre las aguas superficiales y profundas (20 °C), y usan agua o amoníaco como fluido de trabajo.

La primera central maremotérmica del mundo fue construida en 1930 por el francés George Claude que hundió un tubo de 1,6 m de diámetro y dos kilómetros de largo en la Bahía de Matanzas. La planta de 22 kW funcionó 11 días al ser destruida la conexión de agua fría por una tormenta. Las tecnologías actuales son más seguras y minimizan esos impactos. Las plantas OTEC trabajan todo el día y están disponibles 90% del tiempo. Esta tecnología evita la emisión de gases contaminantes. La estabilidad de la diferencia de temperatura oceánica y la predictibilidad de las mareas permitiría incorporar esta tecnología a la generación base del Sistema Electroenergético Nacional.

Energía hidráulica

El ciclo hidrológico comienza cuando el sol evapora el agua de ríos, mares y lagos dando lugar a la formación de nubes que viajan largas distancias y se precipitan en forma de lluvia o nieve sobre montañas, muchas veces alejadas del mar. El agua a causa de la gravedad busca de nuevo el nivel del mar formando, ríos caudalosos en unos casos y pequeñas corrientes en otros. Este caudal que se manifiesta en forma de grandes saltos o de pequeñas corrientes, es la fuente de la energía hidráulica que se puede transformar en energía mecánica o eléctrica.

Desde la era romana ya se utilizaban molinos de agua para regadío, la molienda de los cereales y otras aplicaciones. Las plantas hidroeléctricas modernas son muy eficientes en comparación con las centrales térmicas de obtención de energía eléctrica a partir de combustibles fósiles o de reacciones nucleares.

Todas las centrales hidroeléctricas aprovechan una corriente de agua que mayormente cae por un desnivel. Se utilizan desniveles naturales del terreno, o se

hace que el agua caiga desde una presa o dique. En ellas, se transforma la energía potencial del agua en energía cinética de rotación del eje de la turbina hidráulica, que a su vez acciona un generador eléctrico para producir finalmente electricidad.

La construcción de grandes hidroeléctricas requiere represar enormes volúmenes de agua, lo que provoca un impacto ambiental en ocasiones irreversible sobre el balance ecológico de la zona. Las pequeñas, mini y micro centrales hidroeléctricas que aprovechan los cursos de agua, que serpentean entre las montañas, son una solución muy satisfactoria para la generación de electricidad, tanto desde el punto de vista económico como ecológico. Se trata de plantas donde se aprovecha el agua que fluye y por tanto no requieren embalses, pues se basan en un caudal mínimo anual del curso del agua.

Se estima que 15% de la electricidad generada en el mundo se produce en plantas hidroeléctricas. La mayor hidroeléctrica del mundo es la de Itaipú (14 000 MW), en la frontera entre Brasil y Paraguay. Actualmente se construye en la República Popular China la hidroeléctrica Las Tres Gargantas que tendrá una potencia de 22 500 MW y será entonces la mayor del planeta.

En Cuba alrededor de 35 000 personas se benefician con la electricidad generada en centrales hidroeléctricas. La mayor de las hidroeléctricas es la del Hanabanilla en la provincia de Villa Clara, con una potencia de 43 MW. La potencia de generación hidroeléctrica instalada en Cuba en la actualidad es 61 MW de un potencial estimado en 800 MW. Están en explotación 180 centrales hidroeléctricas de las cuales 31 están conectadas al Sistema Electroenergético Nacional y el resto generan de forma aislada para satisfacer demandas locales. Se espera que para el año 2025 Cuba pueda contar con una capacidad hidrogeneradora de unos 120 MW.

GENERACIÓN DISTRIBUIDA Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Generación Distribuida (GD)

De acuerdo con la Alianza Mundial para la Energía Descentralizada, la Generación Distribuida es la producción de electricidad cercana al sitio donde será utilizada, independientemente de la potencia instalada, de la tecnología o del combustible utilizado, tanto aislada como conectada a la red eléctrica. La GD comprende tecnologías que emplean portadores energéticos renovables y no renovables.

La cogeneración es la producción conjunta de energía térmica y electricidad a partir de un mismo combustible; es una de las vías en que se puede aplicar la GD. La cogeneración se utiliza ampliamente en países como Dinamarca, Holanda y Finlandia. En hoteles, hospitales u otros centros de producción o servicios, este método permite producir energía térmica y electricidad para sus propias necesidades, enviándose el ex-

ceso a la red o empleando la energía térmica en algún proceso industrial. Este esquema aumenta la eficiencia energética de las instalaciones. En nuestros centrales azucareros se quema el bagazo que queda como residuo de la molienda de la caña y la energía obtenida de su combustión se emplea en un generador de vapor. El vapor de agua se envía a una turbina para generar electricidad y se usa en el proceso de fabricación de azúcar. La electricidad satisface la demanda de la industria y el excedente se aporta al SEN.

En Cuba, la GD se basa en grupos electrógenos (Figura 6) que utilizan diesel o fuel oil. La aplicación de estas tecnologías ha tenido un impacto neto positivo en el entorno, ya que tienen menores tasas de consumo específico de combustible. Sin embargo, el impacto en la salud a escala local del ruido, y las emisiones de gases y partículas de muy pequeño tamaño son un problema en cuya solución se trabaja.

La generalización de la GD significó una revolución energética en sí misma, pues cambió la forma tradicional de generar electricidad en el país. Además, las pérdidas en la transmisión de electricidad eran elevadas debido a la lejanía de las plantas respecto a los consumidores. Una importante ventaja de la GD es que facilita la penetración de las tecnologías energéticas renovables, lo cual sería imposible en el marco de un sistema altamente centralizado.

Cuba tiene una capacidad de generación eléctrica de 2418 MW en base a GD, de la cual 1280 MW corresponden a generadores diesel, 540 MW son motores de fuel oil, cogeneración (529 MW) y otras tecnologías energéticas renovables (75 MW). Se han instalado unos 6000 generadores diesel de emergencia en centros clave de producción y servicios. La potencia combinada de estos generadores es 690 MW y se espera conectarlos al SEN.

El modelo de GD tiene beneficios en el enfrentamiento a los desastres naturales. Esto se demostró después del impacto de los huracanes que afectaron el territorio nacional en el año 2008. A pesar del desastre creado por los huracanes, los sistemas descentralizados de energía se mantuvieron operativos. Se crearon microsistemas eléctricos con el esquema de GD y se garantizaron servicios esenciales a la población.

La GD es un elemento esencial de la estrategia energética nacional. Este modelo permitirá al país avanzar hacia un desarrollo energético y socioeconómico sostenible, a partir del uso eficiente de los recursos de combustibles fósiles y una penetración cada vez mayor de las tecnologías energéticas renovables.

Almacenamiento de energía

Almacenar energía es algo común en la naturaleza. Gracias a la clorofila y mediante la fotosíntesis, las plantas captan y almacenan la energía solar. El desarrollo científico-técnico ha permitido crear tecnologías para emular con la naturaleza. Las baterías de los medios automotores y el respaldo eléctrico de las computadoras almacenan pequeñas cantidades de electricidad, pero hay sistemas que almacenan mucha más, como es la climatización con almacenamiento de energía térmica del edificio del Parlamento alemán en Berlín, donde la energía almacenada es 2 GWh.

Las redes eléctricas de corriente alterna deben satisfacer la demanda con eficiencia y confiabilidad. Ello implica disponer de electricidad despachable al menor costo posible y cumplir rigurosas normas de calidad. Por otro lado, enfrentar al cambio climático y transitar hacia la sostenibilidad, exige «descarbonizar» los sistemas energéticos o sea, sustituir los combustibles fósiles por fuentes renovables de energía. Sin

embargo, la variabilidad e intermitencia del recurso solar en sus diferentes manifestaciones (excepto la biomasa y el gradiente térmico oceánico), crea la necesidad de almacenar la energía. Pero si la energía solo se transforma y se conserva, ¿qué es entonces almacenar energía? Es transformarla, transmitirla a otro cuerpo o sistema para después convertirla en energía útil, en forma de energía eléctrica o de energía térmica.

Acumular energía es también importante en prevención de fallas. Es vital en la actividad bancaria, los cuidados de la salud, la protección de datos y las telecomunicaciones. Hay tres líneas básicas de aplicación del almacenamiento de energía: gestión energética (uso racional, disminución de emisiones), calidad de la energía (servicio ininterrumpido, regulación de frecuencia) y transporte (alternativa a los combustibles fósiles). Los países líderes en el desarrollo y uso de estas tecnologías son Japón y EE.UU. El informe Perspectivas de las Tecnologías de Almacenamiento de Energía 2008, considera importante su aporte a la seguridad energética y a la reducción de emisiones.

El italiano Alejandro Volta describió en el año 1800 el principio de la pila electroquímica, antecedente de la batería eléctrica. La hidroacumulación se usó por primera vez a fines del siglo XIX, en un sitio de la frontera entre Suiza e Italia. Hoy es el método de almacenamiento de energía más usado en el mundo con 90 GW instalados, 3% de la potencia de generación eléctrica global. La primera planta eléctrica de almacenamiento de energía mediante aire comprimido fue construida en 1978 en Hundorf, Alemania. Aún trabaja, tiene una potencia de 290 MW e «inyecta» a la red 1,16 GWh al día. La planta de Alabama en EE.UU. tiene 110 MW, opera de forma continua con 80% de eficiencia y genera 2,64 GWh/día.

Métodos y tecnologías

Existen varios métodos para almacenar energía. El método mecánico abarca las hidroacumuladoras, el almacenamiento de energía mediante aire comprimido (CAES en inglés) y las baterías electromecánicas (BEM). Las hidroacumuladoras operan con la electricidad excedente al bajar la demanda. Bombeando agua hacia un reservorio elevado y en el horario pico liberan el agua embalsada y generan electricidad. Japón posee una hidroacumuladora de 30 MW única de su tipo, pues el reservorio inferior es el océano.

Las BEM son volantes de inercia que almacenan la energía eléctrica transformada en cinética de una masa cilíndrica giratoria (Figura 7). Cuando se requiere, la energía almacenada en el volante es «extraída» mediante un motor que funciona como generador eléctrico. Tienen largos tiempos de vida útil, necesitan poco mantenimiento, alcanzan 90% de eficiencia y responden rápidamente en caso de fallas del servicio, entregando



Fig. 6. Batería de grupos electrógenos en Pinar del Río (Foto: Pablo Massip Ginestá).



Fig. 7. Batería electromecánica o volante de inercia para almacenar energía (Fuente: internet).

grandes potencias en cortos lapsos de tiempo. Son muy útiles en el control de frecuencia.

El método químico y electroquímico abarca las baterías, una tecnología madura para muchas aplicaciones y las celdas de combustible con hidrógeno, que aunque es una tecnología cara se usa en los medios de transporte. Las baterías funcionan gracias a reacciones electroquímicas que liberan electrones cuyo movimiento ordenado da lugar a la corriente eléctrica. Existen baterías como las que usan los relojes y los equipos electrónicos portátiles. También las que se utilizan para respaldo eléctrico, almacenamiento de energía en los sistemas fotovoltaicos autónomos y las baterías avanzadas (baterías de flujo, baterías de sulfuro de sodio y otras).

Como principio las termoeléctricas necesitan sistemas de almacenamiento de energía, para lo cual usan bancos de baterías. Esta energía garantiza el funcionamiento de los principales sistemas y permite lograr una operación segura. Si la planta sale de servicio se mantiene la alimentación a los sistemas que lo requieran.

El método eléctrico se logra empleando supercondensadores y el almacenamiento de energía magnética con materiales superconductores. En ambos casos la nanotecnología es clave en la introducción de nuevos materiales para almacenar la energía más eficientemente. El método térmico incluye el almacenamiento bajo tierra y los dispositivos basados en el cambio de fase de materiales.

Electricidad despachable

La energía eólica no permite producir «electricidad despachable», o sea entregarla a partir de la demanda de los consumidores. Pero, ¿se podría «guardar» la energía eólica? Por increíble que parezca, la respuesta es afirmativa. Primero hay que captarla y luego transformarla. De captarla se ocupan los aerogeneradores que la convierten en electricidad con la que funciona, por ejemplo, un sistema que bombea y comprime aire en el interior de una formación geológica subterránea. Este método se empleará en el Parque de Almacenamiento de Energía de Iowa, instalación de 268 MW que se construye en EE.UU. Al comprimir el aire bombeado hacia la caverna se transforma la energía cinética del viento, previamente convertida en energía eléctrica, en energía potencial elástica del aire, que después se libera para producir electricidad mediante una turbina convencional cuando la demanda lo requiera. Así, un parque eólico unido a un sistema CAES produce electricidad despachable.

Almacenamiento en acuíferos

Los resultados del Sistema de Almacenamiento de Energía Térmica en Acuífero en el hospital de Kalin en Flanders, Bélgica, demuestran la alta eficiencia de esta tecnología energética. El sistema se basa en el empleo de bombas de calor reversibles que trasiegan el agua desde dos pozos practicados a 65 m de profundidad en las cercanías del hospital. Según el Instituto Flamenco de Investigaciones Tecnológicas, el sistema ahorra 70% de energía en climatización y reduce apreciablemente las emisiones de CO₂. La mayor instalación de este tipo en el mundo se construye en el aeropuerto internacional de Estocolmo.

En Cuba hay instalaciones de almacenamiento de energía en las termoeléctricas con bancos de baterías de respaldo eléctrico que pueden almacenar más de 30 MWh como la Antonio Guiteras. Existen bancos de baterías en las plantas telefónicas y miles de sistemas fotovoltaicos autónomos que almacenan la energía solar captada en baterías.

USO RACIONAL Y EFICIENTE DE LA ENERGÍA

En la valoración energética de un proceso dado resulta muy útil el concepto de eficiencia, el cual está relacionado con los cambios útiles que son posibles realizar a partir de cierta cantidad de energía disponible. Utilizar eficientemente la energía significa poder producir a partir

de una cierta cantidad inicial de energía disponible la mayor cantidad de cambios o transformaciones, es decir producir más bienes y servicios. El uso racional y eficiente de la energía es la acción más efectiva en el corto y mediano plazo para optimizar el empleo de la energía así como el camino más eficaz para reducir las emisiones de dióxido de carbono y por tanto limitar el calentamiento global del planeta. Se entiende por eficiencia energética la adecuación de los sistemas de producción, transporte y consumo de energía, destinada a lograr el mayor desarrollo sostenible con los medios tecnológicos al alcance, minimizando el impacto sobre el ambiente, optimizando la conservación de la energía y la reducción de los costos energéticos.

Hacer uso racional de la energía no significa prescindir del confort del que disfrutamos, sino producir y usar la energía eficientemente. No es racionar o reducir los servicios que esta presta, sino utilizarla mejor.

Bajo esta óptica, el uso eficiente de la energía consiste en satisfacer los requerimientos energéticos de la sociedad al menor costo económico y energético posible, energizar actividades de baja productividad o que requieren de energía para realizarse, sustituir fuentes energéticas en función de sus costos sociales relativos y concebir políticas de largo plazo en lugar de programas de emergencia y coyunturales.

El problema no es la cantidad de energía empleada, sino la forma más económica de asegurar la calidad de vida y ambiental de los hogares, iluminar adecuadamente las áreas productivas, de esparcimiento y domésticas, transportar personas y mercancías, proporcionar fuerza motriz a equipos y máquinas herramientas, etc.

La eficiencia energética sólo tiene sentido en la medida que permite reducir los costos globales de producción. Ello implica, no sólo el costo total de los equipos nuevos, en los casos de reemplazo de equipos existentes en uso, o la inversión al seleccionar equipos nuevos (los equipos eficientes cuestan más que los equipos estándares), sino además los costos diferenciales de operación y mantenimiento de los equipos eficientes respecto a los estándares, las diferencias de productividad entre ambas opciones, etc.

Se puede afirmar que en la mayoría de las instalaciones eléctricas se derrocha como mínimo 10% o más de la electricidad que se adquiere de las empresas eléctricas debido a una selección y operación inadecuada de los equipos y sistemas de distribución de la electricidad.

El ahorro de energía y la eficiencia energética están estrechamente relacionados con el uso adecuado de los equipos consumidores y con los hábitos de consumo de los individuos.

Las propuestas de ahorro y uso racional de los recursos energéticos que se pueden realizar tanto en el hogar como en las oficinas e industrias, están dirigidas básicamente a aumentar la eficiencia durante el proceso de transformación de la energía, así como durante su transmisión, evitando la disipación de energía en los procesos intermedios y en su uso final.

Para lograr estos propósitos es preciso considerar un grupo de elementos como el adecuado diseño arquitectónico de las edificaciones con vistas a minimizar el gasto de energía (arquitectura bioclimática), el acomodo de la «carga» que permita elegir los horarios más adecuados para las funciones que requieran un mayor consumo de energía, el cumplimiento de las instrucciones de los fabricantes en el uso de los aparatos, maquinarias e instrumentos para no someterlos a regímenes de explotación inapropiados, que ocasionen elevados consumos de energía y el conocimiento de los equivalentes energéticos de cada una de las actividades que realizamos, el empleo de equipos electrodomésticos y luminarias más eficientes, así como la

introducción de la cogeneración y un uso cada vez mayor de las fuentes renovables de energía.

Al tener todos estos factores en cuenta se podrán cubrir más racional y eficientemente todas nuestras necesidades energéticas con un mínimo impacto en el medio ambiente y con mejor desenvolvimiento económico.

Programa de eficiencia energética en Cuba hasta el 2020

Los estudios estiman que el potencial de ahorro de energía eléctrica en Cuba es 23% del consumo actual en el uso final de la energía. Un 20% corresponde al sector estatal y el resto al sector residencial. El estudio tuvo como premisa ejecutar inversiones sin grandes cambios tecnológicos que se recuperen en un período inferior a dos años. A partir de ello se ha elaborado un programa hasta el 2020 ejecutando inversiones hasta revertir esta situación. De acuerdo con los estudios se trabajará en las siguientes áreas, priorizando aquellas donde se logre mayor ahorro (Figura 8):

- motores industriales y bombeo de agua,
- cocción y calentamiento de agua,
- sistemas de refrigeración,
- sistemas de climatización,
- sistemas de iluminación,
- combustible tecnológico.

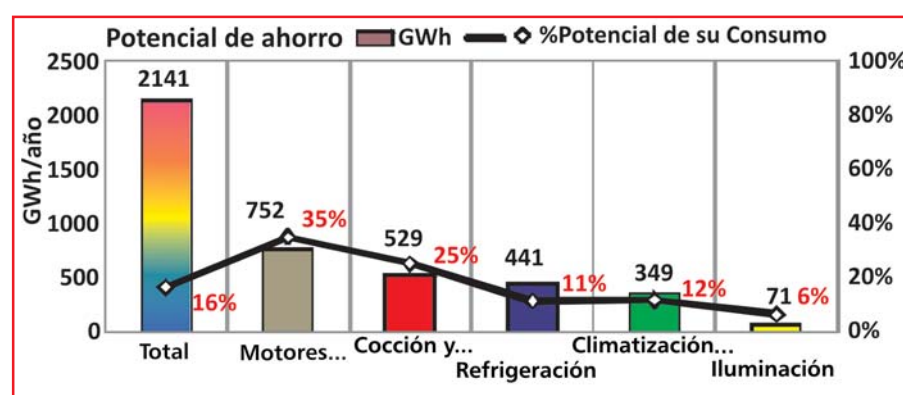


Fig. 8. Potencial de Ahorro Uso Final de la Energía Eléctrica del país por Sistemas.

En cuanto a motores industriales y al bombeo de agua, en el sector estatal se sustituirán motores ineficientes y sobredimensionados, empleando variadores de velocidad donde se justifique. Otros aspectos son el incremento de la eficiencia de los sistemas mecánicos que se le acoplan y la eliminación de salideros de agua en las redes.

Respecto a la cocción y calentamiento de agua se valora instalar calentadores solares, tanto en el sector residencial como en el estatal. Se continuará con la introducción de equipos eficientes para la cocción como el horno de microondas y las cocinas de inducción.

En el área de los sistemas de refrigeración se culminará el cambio de refrigeradores ineficientes en el sector residencial y en el estatal, se ejecutarán proyectos de mejoras tecnológicas en los frigoríficos y cámaras frías en mal estado que incluyen el cambio de puertas, mejoramiento del aislamiento así como el cambio de condensadores y compresores ineficientes.

En los sistemas de climatización se trabajará por culminar el cambio de aires acondicionados ineficientes así como el sellado de locales en el sector residencial. En el sector estatal se prevé la instalación de elementos de protección solar y la sustitución de los sistemas ineficientes de climatización, así como la eliminación de fugas en locales y salideros en conductos.

Por otro lado, en los sistemas de iluminación en el sector residencial, se introducirán masivamente las lámparas tubulares con diodos electroluminiscentes (LED en inglés) con balastro electrónico en sustitución de las lámparas fluorescentes de 20 W con balastro electromagnético. Se prestará atención en este sector al aprovechamiento de la iluminación natural. En el sector estatal se trabajará por sustituir los sistemas de iluminación ineficientes en naves, almacenes, etc. y la

seccionalización de los circuitos de iluminación. Además, se prevé la sustitución del alumbrado público ineficiente y el establecimiento del control del flujo luminoso en grandes avenidas, así como proyectos de control de iluminación en edificios públicos con el empleo de sensores de presencia y del nivel de luz natural incidente. Otras acciones incluyen el uso de lámparas TL5 y LED y el aprovechamiento de la iluminación natural.

El potencial de ahorro de combustible tecnológico es muy elevado debido al deficiente estado técnico de los sistemas de aislamiento térmico y al deficiente ajuste de la combustión, por lo que se priorizarán acciones para enfrentar estos problemas.

Los principales actores de la eficiencia energética en el país son: el Ministerio de Economía y Planificación (MEP), el Ministerio de la Industria Básica (MINBAS) la Unión Nacional Eléctrica (UNE) y el Grupo Nacional para el Ahorro y la Eficiencia Energética. El MEP tiene la responsabilidad de definir la política energética nacional. Los gobiernos provinciales y municipales y los Organismos de la Administración Central del Estado (OACE) son los máximos responsables de implementarlas. Por otro lado, el MINBAS fija los lineamientos de política energética general, así como las tarifas propuestas por la Unión Nacional Eléctrica (UNE) elevándolo a la ratificación del Consejo de Ministros. Participan productores eléctricos independientes quienes, a través de concesiones y licencias, venden la energía generada a la UNE y su participación está sometida a una planificación centralizada de mínimo costo. Existe una tarifa única para todo el territorio nacional, además de normas para la calidad del servicio que promueven el ahorro y la eficiencia energética.

La UNE que depende del Ministerio de la Industria Básica es la entidad nacional encargada de la generación, transmisión, distribución, comercialización y uso racional y eficiente de la energía eléctrica en todo el país. Dentro de la UNE operan la Dirección de Uso Racional y Eficiente de la Energía y el Despacho Nacional de Carga, el cual tiene bajo su responsabilidad la operación de las centrales de generación y de las líneas de transmisión. La UNE abarca además, nueve direcciones administrativas de las cuales dependen empresas de proyectos, construcción y otras. Entre estas se destacan 15 empresas distribuidoras repartidas en la Isla. En cada una de ellas existen unidades empresariales de base de Uso Racional y Eficiente de la Energía con alrededor de 300 especialistas que trabajan directamente en cada municipio aplicando las directivas que el país orienta en el tema de la eficiencia energética y unos cien supervisores energéticos que realizan auditorías.

Otro de los principales actores de la actividad de eficiencia energética en el país es el Grupo Nacional para el Ahorro y la Eficiencia Energética. Este grupo consultivo se creó en el 2007 con el objetivo de coordinar y ejecutar de manera integral todas las acciones relacionadas con la eficiencia energética en el país. Está integrado por especialistas de los organismos centrales del estado (consumidores), empresas de proyectos, empresas de servicios energéticos, el Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (organización especializada en la gestión de información sobre energía), laboratorios de pruebas a equipos, la Dirección de Uso Racional de la Energía de la Unión Eléctrica, y la Red de Eficiencia energética del Ministerio de Educación Superior de la que forman parte todas las universidades técnicas del país.

Estrategia Nacional para el Ahorro y la Eficiencia Energética 2010-2015

Se pretende lograr la aprobación del Marco Legal para el fomento de las Fuentes Renovables de Energía y del Uso Eficiente de la Energía, así como implementar el Reglamento Técnico de Eficiencia y Calidad de los equipos eléctricos importados o fabricados en el país. La aplicación de la Norma Cubana de Diseño Bioclimático de las Edificaciones (NC-220), de cum-

plimiento obligatorio desde el 2008, la modificación de la tarifa eléctrica en el sector estatal, así como la certificación de la eficiencia energética de las nuevas inversiones, son componentes importantes de esta estrategia. Otros aspectos a considerar son las supervisiones energéticas a todos los OACE y órganos locales del Poder Popular, continuar implementando la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía y consolidar el trabajo del Grupo Coordinador Nacional para el Ahorro y la Eficiencia Energética. Además se pretende introducir paulatinamente un alumbrado público más eficiente, instalar masivamente calentadores solares en el sector residencial y estatal y determinar los índices de consumo físico en los centros altos consumidores.

La Estrategia Nacional para el Ahorro y la Eficiencia Energética en Cuba tiene el propósito de crear bases de datos donde se comparen centros similares de Cuba y de otros países así como aumentar el empleo de la cogeneración y de las fuentes renovables de energía y mejorar el aislamiento térmico en las edificaciones y en la industria.

Otras acciones de esta estrategia de la cual se debe derivar el Programa de Eficiencia Energética del país hasta el 2020 están: la implementación del Premio Nacional a la Eficiencia Energética, fomentar la introducción de equipos eficientes en el sector residencial, fortalecer las empresas de servicios energéticos nacionales; continuar implementando proyectos nacionales de ahorro en los sectores y sistemas donde se recupere rápido la inversión, fortalecer las direcciones energéticas de los organismos y gobiernos territoriales para mantener el control de la eficiencia energética a nivel territorial y la implementación de las políticas establecidas en el país, terminar el mapa de la estructura de consumo por uso final de la energía y el potencial de ahorro por provincias y por organismos.

EL ENFRENTAMIENTO AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SECTOR DEL TRANSPORTE

Breve historia del transporte

El primer medio de transporte conocido fue el ser humano, que utilizó su fuerza motriz para el desplazamiento de sus bienes y así mismo. Posteriormente empleó la tracción animal hasta que por los adelantos de la tecnología llega a conocer otras fuentes de energía.

De esta manera en el siglo XVIII dos fenómenos se complementaron: «la 1ª gran transición energética» en la que el carbón mineral desplaza el uso de la leña y «la 1ª Revolución Industrial» con la que surge la máquina de vapor y con ella la locomotora para dar lugar al ferrocarril. En el siglo XIX dos nuevos acontecimientos «disparan» la agresión a la atmósfera, «la 2ª gran transición energética», ahora el carbón mineral se ve relegado por el petróleo y sus derivados y «la 2ª Revolución Industrial» donde nace el motor de combustión interna (MCI) que permite sustituir a la máquina de vapor en locomotoras y buques, propicia el surgimiento de los vehículos automotores y permite la aparición de un nuevo e innovador sistema de transporte, la aviación.

Modos de transporte

• Transporte marítimo

La primera ocasión en que se empleó el vapor para propulsar un barco fue en 1786. El desarrollo de los MCI y en particular los de diesel, permitió el diseño de buques más eficientes de mayor porte. La energía nuclear está restringida en la actualidad a los navíos militares.

• Transporte ferroviario

El ferrocarril es un medio de transporte a gran escala, con vagones remolcados por un vehículo motor denominado locomotora que genera la energía necesaria para el movimiento del conjunto. En 1804, se adapta la máquina de vapor por primera vez al ferrocarril utilizando como combustible la leña. Cuba fue el primer país de América Latina y el séptimo en el mundo que puso

en explotación el 19 de noviembre de 1837 una línea férrea desde La Habana hasta Bejucal.

• Transporte terrestre por carretera o transporte automotor

Durante siglos estuvo restringido a la monta sobre los caballos y otros. Con la invención de la rueda se propicia el empleo de carruajes y trineos tirados por bestias. La llegada del MCI, da lugar a los primeros automóviles. Desde su origen han evolucionado de acuerdo con los deseos de los consumidores, las condiciones económicas, las nuevas tecnologías y en los últimos tiempos, en función de disminuir las afectaciones al medio ambiente. Este modo de transporte posee la mayor cantidad de equipos, y engloba al automóvil, los ómnibus, camiones y los llamados vehículos especializados de uso industrial y militar.

• Transporte aéreo

Es la forma de transporte moderno que más rápidamente se desarrolló. Aunque el primer vuelo se realizó en el año 1903, no fue hasta después de la Primera Guerra Mundial que alcanzó un lugar destacado en algunos países. Tras la Segunda Guerra Mundial el transporte aéreo comercial recibió incluso un mayor impulso cuando los propulsores de los aviones se hicieron más grandes y eficientes.

Emisiones de los medios de transporte

El transporte es uno de los sectores de la economía que más contamina. Incurren en esta contaminación el tipo y calidad del combustible, edad, modelo y estado del motor, rigor y frecuencia del mantenimiento, entre otros.

En las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial, al transporte le corresponde 13% de incidencia, superado por la generación de la energía eléctrica que tiene una participación de 26%.

Los contaminantes emitidos por las fuentes móviles tiene un doble efecto dañino, mientras algunos de los componentes gaseosos afectan a la salud humana (CO, NO_x, HC), otros conllevan al incremento de los GEI (CO₂, CH₄ y N₂O). El transporte automotor es una de las principales fuentes emisoras de estos gases. En los países desarrollados estas emisiones representan entre 30 y 90% del total.

En los combustibles fósiles es inevitable la emisión de dióxido de carbono (CO₂). Su reducción depende de la utilización de otros carburantes, de mejorar su eficacia o de reducir el volumen de circulación. En la actualidad hay en el mundo aproximadamente más de 500 millones de vehículos y se calcula que Europa occidental para el año 2020 duplicará su número.

Las emisiones de todos los sectores en los países industrializados disminuyeron en el período 1990 y 2005, excepto en el de energía que se incrementó 0,5% y dentro de ella resalta las derivadas del transporte que crecieron 18,1%.

En Cuba el transporte automotor es el de mayor incidencia en las emisiones totales por tipo de fuente móvil (Figura 9), e igual comportamiento se registra al analizar los valores de los gases directamente relacionados con el calentamiento global.

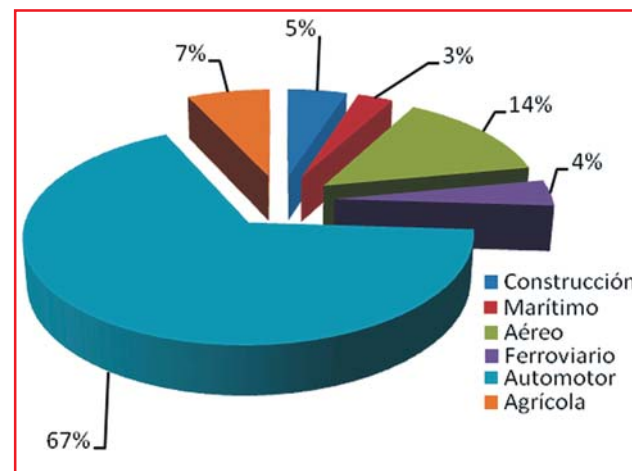


Fig. 9. Composición de las emisiones procedentes de las fuentes móviles de Cuba.

Medidas organizativas para reducir las emisiones de GEI

- Mejoramiento del transporte colectivo. Un mayor uso del transporte colectivo disminuye la cantidad total de emisiones gaseosas a la atmósfera por pasajero y por kilómetro recorrido.
- Aplicación de normas más estrictas. Cada país o grupo de naciones aprueban y aplican las normas para el control de las emisiones de los vehículos automotores. Así, la Unión Europea utiliza las llamadas Normas EURO. En Cuba la propuesta de Norma Cubana plantea una reducción en los valores de emisión con relación a los indicadores actuales.
- Renovación e introducción de nuevos vehículos y el cambio de motores ineficientes por otros de mayor rendimiento. Propicia la disminución de los GEI, ya que se produce un ahorro de combustible, además de la reducción de las paradas por mantenimiento o averías.
- Racionalización (reordenamiento) de la transportación de cargas. Permite la explotación centralizada del transporte con un mayor aprovechamiento de su capacidad en los viajes de ida y retorno, minimizando el consumo de combustible, basado en estudios de logística donde se determine el uso eficiente de cada uno de los medios.
- Control y seguimiento de los movimientos de los vehículos. El Sistema de Posicionamiento Global (GPS), permite controlar las actividades de los vehículos, optimizar las rutas de los conductores, controlar los recorridos, ahorrar combustible y como resultado disminuir las emisiones.
- Mejoramiento de la capacidad vial, el flujo vehicular y del sistema de tránsito en sentido general. El establecimiento de carriles y vías exclusivas para ómnibus, la eliminación de la circulación de camiones de carga por vías con alta densidad de tráfico y mantener una velocidad constante de circulación de los vehículos, son algunas de las soluciones que se adoptan en este sentido en las grandes ciudades.
- Capacitación del personal vinculado a la actividad de transporte. Debe enfatizar en la conducción económica y en el control de los índices de eficiencia energética.

Medidas tecnológicas para reducir las emisiones de GEI

Desde el punto de vista tecnológico se pueden considerar tres grandes líneas: los combustibles alternativos, los nuevos sistemas de tracción basados en tecnologías de avanzada y el progreso de los MCI.

Los combustibles alternativos pueden ser de origen fósil, renovables y los obtenidos de otras fuentes de energía. Todos ellos tienen diferentes formas de obtención, características y disminuyen las emisiones de GEI.

Los de origen fósil: el gas licuado del petróleo (GLP) se utiliza por más de 10 millones de vehículos en el mundo. El gas natural comprimido (GNC), también está muy difundido y es más barato que el GLP.

Entre los renovables más utilizados está el etanol que se obtiene a partir de la fermentación y posterior destilación de jugos ricos en azúcares como la caña de azúcar, la remolacha, el maíz y otros. Otro combustible es el biodiesel (similar al diesel) que se produce a partir de aceites vegetales de diferentes orígenes como soya, maní u otros, también se emplea el aceite comestible ya usado e incluso el excremento animal. En el país se realizan estudios con el Piñón de Botija que es una semilla subproducto de una planta que se destina fundamentalmente para contrarrestar los efectos de la desertificación.

Los procedentes de la biomasa más conocidos son los biocombustibles sólidos. En la actualidad tanto en el mundo como en Cuba, sólo se aplica en el ferrocarril con fines turísticos.

La electricidad propicia un uso más racional de la energía, debido a que se utiliza en el transporte colectivo y estos equipos son más eficientes que los moto-

res de combustión interna. Ello provoca una disminución sustancial de los GEI, fundamentalmente en las ciudades. Tradicionalmente se ha empleado en el transporte ferroviario y con el progreso de la ciencia y la técnica, es posible utilizar los motores eléctricos en los autos a partir de baterías recargables de nueva generación o paneles solares fotovoltaicos.

Las soluciones técnicas utilizadas en estos vehículos sirven de base al desarrollo de los nuevos sistemas de tracción, basados en tecnologías de avanzada como los vehículos híbridos y las células de combustible.

En el vehículo híbrido la electricidad se produce a bordo, a partir de un generador acoplado a un MCI más pequeño que el tradicional, el cual trabaja en régimen constante. Estas dos características hacen que emita menor cantidad de gases contaminantes a la atmósfera al compararlo con el diesel o los que funcionan con GNC (Figura 10).

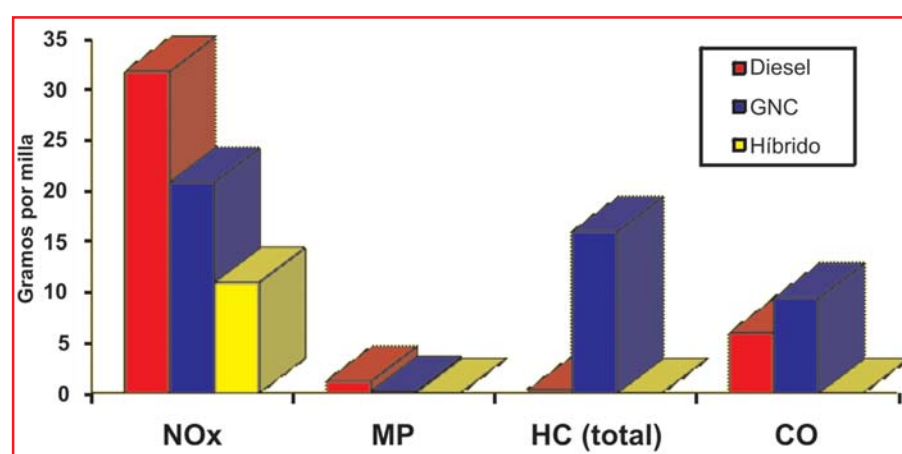


Fig. 10 Comparación de las emisiones entre vehículos híbridos, con GNC y diesel.

Al hidrógeno se le ha denominado el combustible del futuro, debido a que es el elemento más abundante del planeta, tiene el más alto contenido de energía/masa, puede ser renovable en dependencia de la fuente de origen y la combustión es más limpia que la de los combustibles tradicionales.

La forma más limpia de uso del hidrógeno en el transporte se logra cuando la energía se obtiene de la célula de combustible, la que genera energía eléctrica silenciosa, eficiente y no emite Pb, NO_x, SO_x, CO y CO₂. Ella convierte al hidrógeno y oxígeno (aire) en electricidad y vapor de agua.

El progreso de los MCI ha estado dirigido a mejorar la combustión con el empleo de válvulas múltiples, inyección electrónica, magnetizadores, mejoramiento en el diseño de la cámara de combustión y la relación de compresión, entre otros. También se han logrado reducir los gases contaminantes con el uso de convertidores catalíticos, filtros de partículas, catalizadores de oxidación y la recirculación de los gases de escape.

LA ENERGÍA NUCLEAR: UNA FUENTE ENERGÉTICA ALTERNATIVA PARA ENFRENTAR EL CAMBIO CLIMÁTICO

Uno de los retos para el desarrollo sostenible es la búsqueda de políticas efectivas para actuar contra el cambio climático. En los últimos años se ha potenciado el aprovechamiento de la energía nuclear como una opción de mitigación del cambio climático. Se estima que 443 centrales nucleares que hay en el mundo evitan emitir 3 mil millones de toneladas de CO₂.

En 1942, una década después del descubrimiento de la radiactividad artificial, Enrico Fermi

construyó en la ciudad de Chicago la primera "pila atómica". El 20 de diciembre de 1951 se produjo por primera vez electricidad a partir de un reactor nuclear en Idaho, EEUU. El 26 de junio de 1954 en la ciudad de Obninsk, cerca de Moscú, fue conectada a la red de distribución de electricidad la primera central de energía nuclear. Entre los años 50 y 60 se comenzaron a construir centrales nucleares en varios países. El combustible utilizado en la mayoría de los reactores en operación es el óxido de uranio enriquecido UO₂ con una proporción de 2-5% en peso de U-235 (Pichs R., 2008).

Las centrales nucleares (Figura 11) son instalaciones para la generación industrial de electricidad a partir de la energía térmica producida por la fisión nuclear. Este es un proceso físico por el cual núcleos de átomos pesados se fragmentan en otros núcleos debido a la interacción con neutrones; emitiéndose neutrones a alta velocidad y energía térmica, la cual se transforma en trabajo mecánico y este último en energía eléctrica.

La energía nuclear representaba 1% del balance de energía comercial en 1973. Llegó a aportar 5% en 1985 y desde entonces se mantuvo en torno al 6%, debido a la pérdida de dinamismo de este segmento energético en los últimos treinta años por razones económicas, ambientales, entre otras, que ensombrecieron el auge registrado hasta comienzos de la década del ochenta. En los últimos veinticinco años el aporte de la energía nuclear a la generación

mundial de electricidad, alrededor de 2,700 TWh se ha mantenido cercana al 16% (Houtart F., 2009).

En el 2006 se reportó la existencia de 443 centrales nucleares en operación para la producción de electricidad con una capacidad instalada de 370 GWe (Documento de trabajo, 2008); destacándose como principales productores EE.UU. (30%, 104 reactores y 99 GWe), Francia (16%, 59 reactores y 63 GWe), Japón (11%, 56 reactores y 48 GWe), Alemania (6%, 17 reactores y 20 GWe), Rusia (6%, 31 reactores y 22 GWe) y Corea del Sur (5%, 20 reactores y 17 GWe). En años más recientes se percibe un renovado interés en esta fuente energética, sobre todo en Asia. Por ejemplo, la India (15 reactores y 3 GWe) espera una expansión de la capacidad de generación eléctrica de origen nuclear en ocho veces para 2022 y China (9 reactores y 6,6 GWe) en cinco veces en los próximos quince años (IAEA, 2006).

La energía nuclear y el calentamiento global

Actualmente los combustibles fósiles proporcionan 81% de la energía primaria. La energía nuclear aporta 6% y las fuentes renovables de energía 13% del suministro



Fig. 11. Central electronuclear (Fuente: internet).

de energía primaria. Esta excesiva dependencia de las fuentes energéticas fósiles mantiene un nivel alto de emisiones atmosféricas que producen efectos locales y globales.

Estudios realizados recientemente en España (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, 2000) muestran que los sistemas térmicos clásicos basados en los combustibles fósiles aparecen como los principales causantes del calentamiento global debido a las emisiones, principalmente de CO₂ y CH₄; y que de todas las tecnologías analizadas la mejor posicionada con respecto al calentamiento global es la nuclear (Tabla 1).

En este contexto la energía nuclear es una alternativa que se vuelve a discutir con interés, presentando detractores y defensores. Los detractores de esta opción energética plantean algunas objeciones importantes:

- Los costos de inversión inicial de este tipo de plantas resultan excesivamente elevados respecto a otras alternativas (Documento de trabajo, 2008). Para una central nuclear la inversión inicial supone 60% de los costos de generación, 20% de los costos de combustible (con un precio muy estable) y el restante 20% corresponde a costos de mantenimiento y operación. En una central nuclear típica de 1000 MW de potencia, el consumo anual de combustible es 35 toneladas, frente a las 2 000 000 toneladas de combustible de una central de gas o de carbón (Foro de la Industria Nuclear Española, 2002).
- El tratamiento de los residuos, varios de los cuales deben permanecer custodiados durante miles de años debido a su alta carga tóxica. Se debe considerar que los residuos nucleares se pueden manejar con la tecnología actual de forma segura y aislada del medio ambiente durante miles de años y más, hasta que lleguen a ser inocuos.
- La viabilidad de largo plazo de este tipo de energía, debido a que su combustible es no renovable y que se agotaría en unas décadas. En relación con esta preocupación se debe considerar que las reservas actuales de uranio (significan solamente lo que se ha encontrado, porque se buscaba, teniendo en cuenta un retorno económico a corto plazo) representan más de 70 años de consumo al ritmo actual. Se estima que los recursos convencionales representan alrededor de 250 años de consumo al ritmo actual y los recursos no convencionales, contenidos en los fosfatos marinos y en el agua del mar, son mayores al menos en dos órdenes de magnitud. Por otra parte, el uso del combustible nuclear se puede extender en un factor de aproximadamente 30, mediante el reprocesamiento del combustible y el reciclado del material fisionable como combustible de óxidos mixtos en reactores de agua ligera. Esta tecnología

se ha desarrollado y utilizado de forma significativa en Europa y actualmente se está aplicando en Japón.

Las principales razones esgrimidas a favor de esta opción son:

- Las centrales nucleares no emiten gases de efecto invernadero, a diferencia de lo que ocurre con las centrales alimentadas a partir de energías fósiles. Una central nuclear típica de 1000 MW evita la emisión de 5 millones de toneladas de CO₂ anuales.
- La seguridad de los reactores se encuentra en una fase sustancialmente mejorada respecto a la predominante en la década del 80, reduciendo significativamente las probabilidades de ocurrencia de un accidente de proporciones semejantes.
- El costo final de este tipo de energía es relativamente bajo, debido principalmente al bajo costo de los combustibles.

En la actualidad, la urgencia del enfrentamiento al cambio climático debe considerar la inclusión de la energía nuclear en la matriz energética por aquellos países en condiciones de asumirla, en tanto se logre alcanzar el deseado incremento de la participación de las fuentes renovables de energía a escala local, nacional y global.

ENERGÍA GEOTÉRMICA

El vocablo «geotérmica» proviene de las palabras griegas geo (tierra) y termas (calor). La energía geotérmica es la energía térmica que fluye desde el interior caliente de la tierra. Es una fuente renovable de energía debido a que el calor se produce continuamente dentro de esta. La energía geotérmica es una fuente probada de «calor directo» y generación de energía eléctrica. Los recursos geotérmicos más activos se encuentran a lo largo de los límites de placas donde se concentran los principales terremotos y volcanes. La mayor parte de la actividad geotérmica en el mundo se produce en un área llamada Cinturón de Fuego situada en el Océano Pacífico.

Los tres principales usos de la energía geotérmica son:

- El uso directo en los sistemas de calefacción urbana y el uso del agua caliente de los manantiales o depósitos cerca de la superficie.
- Plantas de generación de energía eléctrica que requieren agua o vapor a muy alta temperatura.
- Las bombas de calor geotérmicas usan la temperatura estable del suelo para calefacción y refrigeración.

En más de 30 países, los recursos geotérmicos permiten el uso directo del calor (12 000 MW) y la generación eléctrica de más de 8000 MW. La energía geotérmica cubre una porción significativa de la demanda eléctrica en varios países en desarrollo. Por ejemplo, en Filipinas esta fuente de energía representa 27% de la generación eléctrica total del país, con instalaciones de hasta 700 MW.

La tecnología geotérmica es adecuada tanto para la electrificación rural como para la generación distribuida y para inyectar la electricidad generada a la red nacional. El uso directo del calor geotérmico puede aumentar la produc-

ción agrícola y la acuicultura en los climas más fríos y suministrar calor a los procesos industriales lo que puede añadir valor a los productos primarios locales.

La Roca Seca Caliente (HDR en inglés) es una forma particular de la tecnología geotérmica que está actualmente en investigación y comercialización en países como EE.UU., Japón, Europa y Australia. Esta fuente de energía se crea cuando el agua se inyecta en un pozo y esta pasa a través de un intercambiador de calor de roca caliente agrietada ubicada varios kilómetros bajo la superficie. El agua se calienta a través del contacto con la roca y se devuelve a la superficie a través de otro pozo, y se utiliza para generar electricidad. El agua se vuelve a inyectar en el primer pozo para volverla a calentar y usarla nuevamente.

Los costos de la energía eléctrica geotérmica dependen en gran medida del carácter de los recursos y del tamaño de los proyectos. Entre los principales factores que afectan los costos son la profundidad y la temperatura del recurso geotérmico, la productividad de los pozos, el cumplimiento de las normas ambientales, proyectos de infraestructura y factores económicos. Se ha estimado que la energía geotérmica convencional cuesta entre 20 y 40 dólares por megawatt-hora y la que proviene de la tecnología HDR podría costar entre 40 y 60 dólares por megawatt-hora generado.

Es probable que el desarrollo de la generación geotérmica desempeñe un papel mayor en el futuro más inmediato en las regiones volcánicamente activas como Nueva Zelanda. Sin embargo, estudios recientes en Australia han establecido que existe un recurso geotérmico muy importante que potencialmente se puede aprovechar por la tecnología de Roca Seca Caliente.

El impacto ambiental de la energía geotérmica depende de cómo se utilice. El uso directo y las aplicaciones en la calefacción casi no tienen efectos negativos sobre el medio ambiente. Las plantas geotérmicas tienen bajos niveles de emisión, pues no queman combustible para generar electricidad. Liberan menos del 1% de las emisiones de dióxido de carbono de una planta que queme combustible fósil de la misma potencia. Las plantas geotérmicas utilizan sistemas de lavado para limpiar el sulfuro de hidrógeno que se encuentra en el vapor y en el agua caliente. Estas plantas emiten 97% menos de los compuestos de azufre que causan la lluvia ácida que los emitidos por plantas a combustibles fósiles.

CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO (CAC)

La captura y el almacenamiento de carbono es un proceso que consiste en separar el CO₂ emitido por la industria y las fuentes relacionadas con la energía, se transporta a un lugar de almacenamiento y aislamiento de la atmósfera a largo plazo.

La captación se puede aplicar a grandes fuentes puntuales en las cuales el CO₂ se comprimiría y transportaría para almacenarse en formaciones geológicas, carbonatos minerales, o para utilizarse en procesos industriales. Las grandes fuentes puntuales de CO₂ comprenden a las instalaciones de combustibles fósiles o de energía de la biomasa de grandes dimensiones, la producción de gas natural, las plantas de combustible sintético y las plantas de producción de hidrógeno alimentadas por combustibles fósiles y principales industrias emisoras de CO₂.

En 1992 la preocupación de la comunidad internacional por el cambio climático dio lugar a la creación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). El objetivo fundamental de la Convención es la «estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida una interferencia antropógena peligrosa en el sistema climático».

Desde esa perspectiva, el contexto en que se considera la CAC (como otras opciones de mitigación) es el de un mundo con emisiones de CO₂ limitadas, de conformidad con la meta internacional de estabilizar las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero.

Tabla 1. Ecopuntos (asumido como el nivel de «penalización-ambiental») por sistemas y categorías de impacto

Impactos/ Sistemas Energéticos	Carbón	Petróleo	Gas Natural	Nuclear	Fotovoltaico	Eólico
Calentamiento Global	109,00	97,00	95,80	2,05	15,40	2,85
Disminución Capa de Ozono	1,95	53,10	0,86	4,12	3,66	1,61
Acidificación	265,00	261,00	30,50	3,33	97,00	3,49
Eutrofización	11,60	9,76	6,97	0,28	1,97	0,27
Metales pesados	728,00	244,00	46,60	25,00	167,00	40,70
Sustancias Carcinógenas	84,30	540,00	22,10	2,05	75,70	9,99
Niebla de invierno	124,00	135,00	3,08	1,50	53,30	1,48
Niebla Fotoquímica	3,05	36,90	3,47	0,32	3,03	1,25
Radiaciones ionizantes	0,05	0,02	0,00	2,19	0,12	0,01
Residuos	12,90	0,62	0,58	0,28	1,84	0,29
Residuos Radiactivos	10,60	7,11	1,34	565,00	34,90	1,83
Agotamiento Recursos Energéticos	5,47	13,60	55,80	65,70	7,06	0,91
TOTAL	1355,92	1398,11	267,11	671,82	460,98	64,67

La mayor parte de los escenarios del uso de energía mundial prevé un aumento sustancial de las emisiones de CO_2 a lo largo de este siglo si no se adoptan medidas específicas para mitigar el cambio climático. Asimismo, sugieren que el suministro de energía primaria estará dominado por los combustibles fósiles hasta al menos, mediados de siglo.

El Tercer Informe de Evaluación (TIE) del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC en inglés) establece que, según el escenario que se considere a lo largo de este siglo habría que evitar las emisiones acumulativas de cientos, o incluso miles de gigatoneladas de CO_2 para estabilizar la concentración de CO_2 a un nivel entre 450 y 750 ppmv. El TIE también constata que «la mayoría de los resultados de los modelos indican que las opciones tecnológicas conocidas podrían permitir alcanzar muy diversos niveles de estabilización del CO_2 atmosférico», pero que «ninguna opción tecnológica podrá lograr por sí sola las reducciones de emisiones necesarias». Más bien, se necesitará una combinación de medidas de mitigación para lograr la estabilización. Esas opciones tecnológicas conocidas se pueden aplicar a la estabilización, si bien el TIE advierte que «para poner en práctica estas opciones habría que introducir cambios socioeconómicos e institucionales conexos».

Posibles métodos técnicos de almacenamiento:

- Almacenamiento geológico (en formaciones geológicas, como los yacimientos de petróleo y gas, las capas de carbón inexplorables y las formaciones salinas profundas).
- Fijación industrial de CO_2 en carbonatos inorgánicos.

Situación actual de la tecnología de CAC

Existen diferentes tipos de sistemas de captación de CO_2 : posterior a la combustión, previo a la combustión y combustión de oxígeno-gas.

La captación posterior a la combustión de CO_2 en las centrales eléctricas es económicamente viable en condiciones específicas. Se utiliza para captar CO_2 de parte de los gases de combustión emitidos por diversas centrales eléctricas existentes.

La tecnología requerida para la captación previa a la combustión se aplica de forma generalizada a la fabricación de fertilizantes y a la producción de hidrógeno. Las altas concentraciones de CO_2 en el flujo de gas y la presión más elevada facilitan la separación.

La combustión de oxígeno-gas está en la fase de demostración y utiliza oxígeno de alto grado de pureza. Ello da lugar a altas concentraciones de CO_2 en el flujo de gas y por tanto, a una separación más fácil del CO_2 , así como a mayores necesidades energéticas para separar el oxígeno del aire.

El transporte por gasoductos es preferible para grandes cantidades de CO_2 a distancias de hasta 1000 km.

El almacenamiento de CO_2 en formaciones geológicas profundas en el mar o en la tierra (Figura 12) utiliza muchas de las tecnologías desarrolladas por la industria petrolera y del gas, y ha demostrado ser económicamente viable en condiciones específicas para los yacimientos de petróleo y gas, y para las formaciones salinas.

Los riesgos locales del almacenamiento geológico de carbono para la salud, la seguridad y el medio ambiente se podrían minimizar con una selección apropiada del emplazamiento, basada en la información disponible sobre la zona subterránea y la puesta en práctica de un programa de vigilancia para detectar fallas. La implementación de un sistema de reglamentación y la utilización adecuada de los métodos de saneamiento para detener o controlar posibles liberaciones de carbono contribuiría también a minimizar los riesgos de posibles fugas. Estos riesgos serían comparables con actividades como el almacenamiento de gas natural, la recuperación mejorada de petróleo y la eliminación subterránea a profundidad de gas ácido.

Hay dos tipos diferentes de escenarios de fugas: 1) fuga repentina, cuando se produce un fallo en el pozo de inyección o una fuga ascendente en un pozo abandonado, 2) fuga gradual a través de fallas, fracturas o

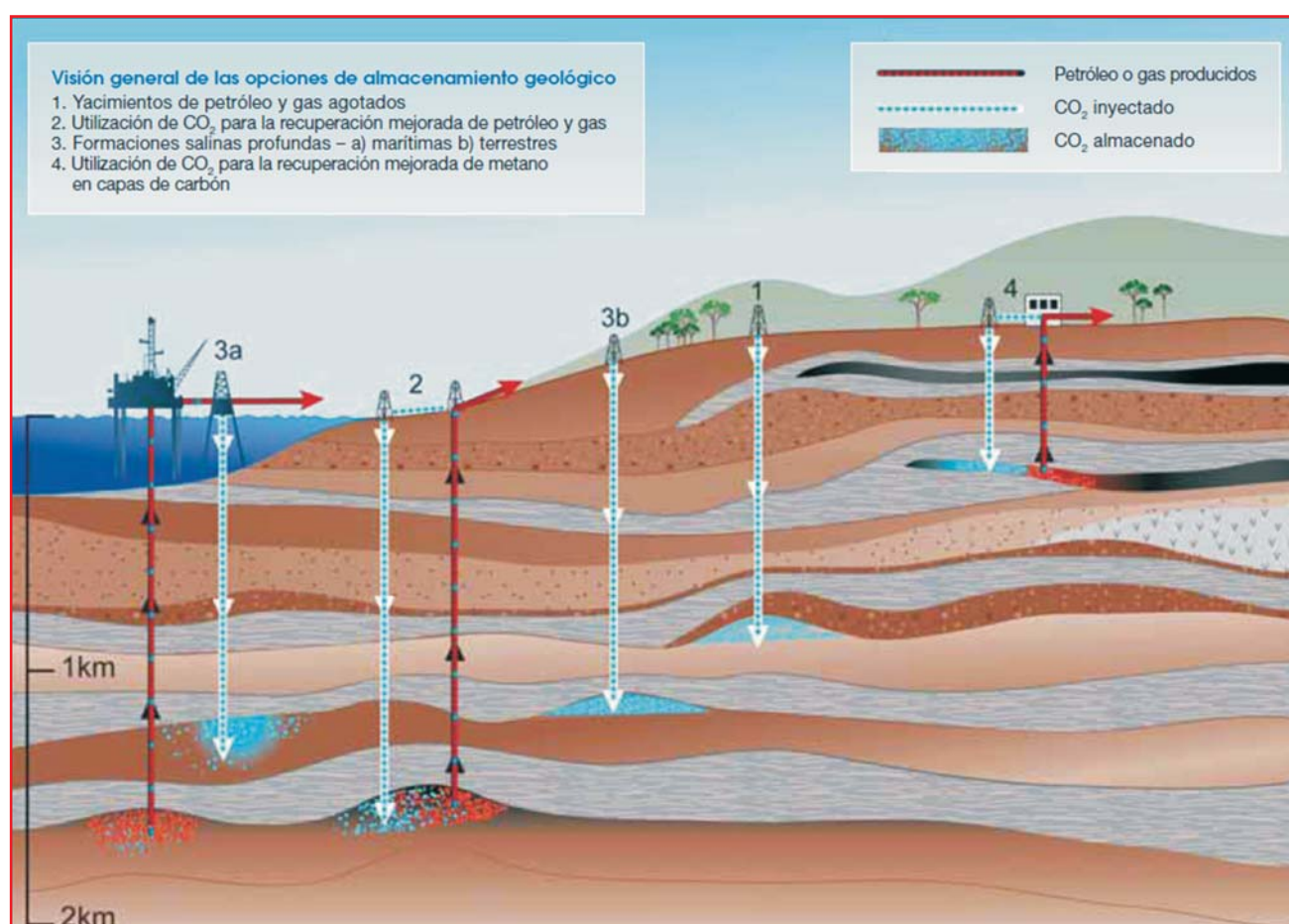


Fig. 12. Métodos para almacenar CO_2 en formaciones geológicas subterráneas profundas. Se pueden combinar dos métodos con la recuperación de hidrocarburos: recuperación mejorada de petróleo y recuperación mejorada de gas metano en capas de carbón inexplorables.

pozos que no se han detectado. El impacto de concentraciones elevadas de CO_2 en zonas subterráneas a poca profundidad podría tener efectos letales en las plantas y los animales del subsuelo, así como en la contaminación de las aguas subterráneas.

En la actualidad existen tres proyectos de almacenamiento a escala industrial en funcionamiento:

- El proyecto Sleipner en una formación salina marítima en Noruega.
- El proyecto Weyburn de recuperación mejorada de petróleo en Canadá.
- El proyecto In Salah en un yacimiento de gas en Argelia.

Fuentes actuales y características del CO_2

A fin de evaluar el potencial de la CAC como opción para reducir las emisiones de CO_2 mundiales se ha examinado la actual relación geográfica mundial entre las grandes fuentes de emisión de CO_2 estacionarias y su proximidad a los posibles lugares de almacenamiento. Las emisiones de CO_2 en los sectores residencial, comercial y de transporte no se han tenido en cuenta, ya que cada una de estas fuentes de emisión es pequeña y a menudo son móviles, por tanto, no son apropiadas para la captación y el almacenamiento. Este examen comprende también un análisis de fuentes potenciales de CO_2 basado en diversos escenarios de utilización de energía y de emisiones futuras en todo el mundo durante el próximo siglo.

A escala mundial las emisiones de CO_2 causadas por la utilización de combustibles fósiles en el año 2000 ascendieron aproximadamente a 23,5 Gt de CO_2 al año (6 Gt de carbono al año). Cerca del 60% de esas emisiones correspondía a grandes (>0,1 Mt de CO_2 al año) fuentes de emisión estacionarias. Sin embargo, no todas son convenientes para la captación de CO_2 .

LA GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO EN TEMAS ENERGÉTICOS: UNA HERRAMIENTA PARA ENFRENTAR EL CAMBIO CLIMÁTICO

El conocimiento generado y acumulado por la humanidad a través de la larga y controvertida experiencia de utilización de las tecnologías energéticas, resulta crítico para el desarrollo sostenible y se debe gestionar

desde un enfoque de Gestión del Conocimiento en Energía.

La Gestión del Conocimiento en Energía se define como el proceso de identificación, adquisición, creación, conservación, diseminación y uso del conocimiento en energía, mediante la gestión reproductiva del capital intelectual (capital humano, capital estructural, capital relacional) para soportar o producir un cambio organizacional en el sector energético. En este contexto el conocimiento en energía se asume como la capacidad para la acción práctica de cambio asociada a la actividad de la energía (González A., 2010).

El cambio organizacional más urgente que se demanda hoy en el sector energético es la sustitución del paradigma energético no sostenible que propicia el cambio climático por un nuevo paradigma energético sostenible basado en una mayor participación de las fuentes renovables de energía en la matriz energética mundial, acompañada de un modelo más racional de consumo energético de la población mundial.

El tránsito hacia ese nuevo paradigma energético sostenible, demandado por el cambio climático, exige por lo menos una revolución energética (GREENPEACE, EREC, 2007). La piedra angular de esta revolución será un cambio en la forma de producción de energía, su distribución y consumo. Los cinco principios clave que subyacen tras este cambio serán:

- Puesta en práctica de soluciones renovables, especialmente con sistemas energéticos descentralizados.
- Respeto de los límites naturales del medio ambiente.
- Desmantelamiento de fuentes de energía sucia y no sostenible.
- Creación de una mayor equidad en el uso de los recursos.
- Desacoplamiento del crecimiento económico del consumo de los combustibles fósiles.

En Cuba se inició en el año 2005 una Revolución Energética (Arrastía M. A., López D., 2010) concebida como un programa de acciones que incluyen profundas transformaciones estructurales en el sector energético como: ahorro y uso eficiente de la energía, incremento de la disponibilidad del servicio eléctrico (mediante un sistema de generación distribuida y la rehabilitación de las redes eléctricas), uso de fuentes energéticas renovables (biomasa, solar, eólica e

hidroenergía), incremento de la explotación y producción de petróleo y gas, y colaboración internacional (Pichs R., 2008).

La gestión del cambio organizacional en el sector energético se puede realizar a través de un modelo que comprende las siguientes fases: acercamiento, investigación, planeación, acción, evaluación y sistematización (Figura 13) y se debe basar en la Gestión del Conocimiento en Energía, derivando en la conservación y uso del conocimiento en energía para el desarrollo sostenible.



Fig. 13. Fases para la institucionalización de la Gestión del Conocimiento en Energía.

En la fase de acercamiento se identifica por qué es necesario el cambio organizacional en el sector energético o sea, cuál es el efecto no deseado. Por ejemplo, puede que resulte evidente que hay un impacto medioambiental negativo y como una de sus manifestaciones severas, el cambio climático. En la fase de investigación se realiza un diagnóstico que da lugar desde una descripción de una situación problemática hasta un análisis causal que establece la relación entre diversos problemas relacionados con el efecto no deseado; pudiendo resultar como problema en energía identificado: elevadas emisiones de gases de efecto invernadero por la explotación de una tecnología energética no apropiada. Además en esta fase se indaga sobre los recursos reales y potenciales que se pueden gestionar para abordar la solución del problema. En la tercera fase se realiza la planeación estratégica que incluye la visión del estado deseado, por ejemplo la reducida emisión de gases de efecto invernadero por la explotación de una tecnología energética apropiada, así como se identifican las acciones que pueden conducir al estado deseado o solución del problema en energía identificado. En la fase de acción se implementan las acciones pertinentes que conducirán al estado deseado como el conjunto de acciones comprendidas en el programa de la Revolución Energética.

En la siguiente fase se evalúa el proceso que llevó al estado deseado, procurando conocer qué pasó durante el proceso. Y finalmente se realiza la sistematización del proceso vivido que consiste en una reflexión crítica de este para extraer las lecciones aprendidas, o sea se pregunta cómo pasó y por qué pasó lo que pasó. Así se completa el ciclo de conocimiento de un proceso que condujo a un impacto medioambiental positivo caracterizado por la reducida emisión de gases de efecto invernadero a partir de la transferencia de una tecnología energética apropiada.

La Gestión del Conocimiento en Energía debe procurar un tratamiento equilibrado de cuatro pilares interrelacionados: capital humano, información, tecnologías energéticas y trabajo en redes de conocimiento, basado en el uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones. El trabajo en redes de conocimiento debe constituir una nueva forma organizativa que busque el abordaje cooperativo de la solución de problemas en energía que pueden resultar comunes a varias instituciones.

El programa de la Revolución Energética en Cuba comprende la realización de un conjunto de acciones de cambio en el sector de la energía, que pueden estar asociadas con cada uno de los pilares de la Gestión del Conocimiento en Energía, para la consecución de sus objetivos económicos, sociales y ambientales (Tabla 2). En materia ambiental estas acciones de cambio tienden a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y contribuyen por tanto, a la mitigación del cambio climático (Pichs R., 2008).

Un elemento significativo de cambio propuesto en el marco de la Revolución Energética en Cuba es la introducción de una nueva variable para la sostenibilidad del desarrollo de las organizaciones: el consumo energético, lo cual las obliga a mantener una planificación, vigilancia y control estricto del consumo de los portadores energéticos para la realización eficiente de cada uno de sus procesos.

Una de las evidencias de la visión integral de las acciones de la Revolución Energética es que la generación distribuida de electricidad demanda un mayor compromiso de cada territorio, la cual debe procurar la movilización y capacitación del capital humano propio, en tanto que esta tecnología va acompañada de los beneficios y riesgos asociados al emplazamiento local de los motores diesel y de fuel oil; ello derivaría en una nueva conciencia y cultura energética basada en el uso racional de la energía, además de que prepara las condiciones para un perspectiva desplazamiento de tecnologías energéticas renovables o sistema híbrido (combinando el uso de fuentes fósiles y renovables). Todo este esfuerzo requiere de la colaboración interinstitucional con un flujo continuo y en todas direcciones de la información y el conocimiento en energía existente.

Tabla 2. La Revolución Energética en Cuba y los pilares de la Gestión del Conocimiento en Energía

Capital Humano	Fomento de una cultura del uso racional de la energía mediante la educación ambiental Capacitación en el uso de fuentes renovables de energía Nuevas tarifas eléctricas que gravan más a los grandes consumidores
Información	Estrategia de comunicación de la Revolución Energética dirigida a promover y desarrollar una cultura energética sostenible Diseminación y divulgación de la información de energía en los medios de comunicación masiva incluido internet
Tecnologías Energéticas	Sustitución de bombillos incandescentes por ahorradores Generación distribuida de electricidad, mediante la instalación de motores diesel y de fuel oil Rehabilitación de las redes de transmisión de electricidad Desarrollo actual y prospectivo de las fuentes renovables de energía
Trabajo en Redes de Conocimiento	Creación y trabajos del Grupo Nacional de Atención a la Energía Desarrollo de la Red Nacional de Gestión del Conocimiento en Energía y de otras redes temáticas en Energía Estudios de externalidades de la generación eléctrica con la participación de entidades de diversos OACE

MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO

El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) es un mecanismo cooperativo establecido por el Protocolo de Kioto, el cual potencia la ayuda a los países en progreso para alcanzar un desarrollo sostenible mediante la promoción de inversiones ambientales amigables por parte de gobiernos o empresas de los países industrializados.

Antecedentes

El Protocolo de Kioto (1997) constituye un importante hito dentro de los esfuerzos globales para proteger el ambiente y alcanzar un desarrollo sostenible, en el que

por primera vez los gobiernos aceptaron restricciones legalmente vinculantes sobre sus emisiones de gases de efecto invernadero. El Protocolo también traza nuevos horizontes al establecer sus innovadores mecanismos cooperativos que apuntan a reducir el costo de esas emisiones, ya que estos no son relevantes para el clima. Este Protocolo incluye tres mecanismos basados en el mercado, orientados a alcanzar las reducciones de manera costo-efectiva: el Comercio Internacional de Emisiones (CIE), la Implementación Conjunta (IC), y el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

El MDL contenido en el Artículo 12 del Protocolo de Kioto, permite a los gobiernos o entidades privadas de países industrializados implementar proyectos de reducción de emisiones en países en desarrollo y recibir créditos en forma de Reducciones Certificadas de las Emisiones, o RCE, las cuales se pueden contabilizar dentro de sus objetivos nacionales de reducción. El MDL procura la promoción del desarrollo sostenible de los países en progreso y a la vez permite a los países desarrollados contribuir a reducir las concentraciones atmosféricas de los gases de efecto invernadero.

El Protocolo de Kioto fue adoptado en diciembre de 1997, creando obligaciones legalmente vinculantes para 38 países industrializados, incluyendo 11 países en Europa central y del este para reducir sus emisiones de GEI durante el período 2008-2012 con promedio de 5,2% por debajo de sus niveles de emisión de 1990. Entró en vigor en febrero del 2005.

Las metas de reducción cubren los seis principales gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆). Además, el Protocolo permite a estos países decidir cuáles de los seis gases formarán parte de su estrategia nacional de reducción de emisiones. También se incluyen algunas actividades en el sector del cambio en el uso del suelo y silvicultura como la deforestación y reforestación que emiten y absorben dióxido de carbono de la atmósfera.

Después de más de cuatro años de debate, los gobiernos acordaron finalmente en el año 2001, un compendio de reglas y modalidades –los acuerdos de Marrakech– sobre cómo implementar el Protocolo de Kioto.

Mecanismo de Desarrollo Limpio y los mecanismos cooperativos

- El Comercio Internacional de Emisiones permite a los países (Anexo I) transferir parte de sus «derechos de emisiones» (unidades de cantidad atribuida).
- La Implementación Conjunta permite a los países (Anexo I) reclamar crédito por las reducciones de emisiones que se generen de la inversión de otros países industrializados,

lo cual resulta en una transferencia de equivalentes «unidades de reducción de emisiones» entre los países.

- El Mecanismo de Desarrollo Limpio permite proyectos de reducción de emisiones que propicien un desarrollo sostenible en los países en desarrollo (No Anexo I) y generen «reducciones certificadas de emisiones» para el uso del inversionista (Países Anexo I).

Los mecanismos dan a los países y a las compañías del sector privado la oportunidad de reducir emisiones en cualquier lugar del mundo –donde el costo sea menor–, pudiendo contar con estas reducciones para cumplir sus propios objetivos.

Los fondos canalizados a través del MDL deberían servir a los países en desarrollo a alcanzar algunos de

sus objetivos económicos, sociales, ambientales y de desarrollo sostenible, como agua y aire más limpio, mejoras en el uso de la tierra, acompañado por beneficios sociales como el desarrollo rural, empleo y disminución de la pobreza, y reducir la dependencia de los combustibles fósiles importados. Además de catalizar prioridades de «inversiones verdes» en los países en desarrollo, el MDL ofrece una oportunidad para progresar simultáneamente en temas vinculados con el clima, y con aspectos locales ambientales.

Participación en el MDL

El MDL permite a un país desarrollado (Parte Anexo I) implementar un proyecto que reduce las emisiones de gases de efecto invernadero, sujeto a ciertas restricciones que remueven estos gases mediante el secuestro de carbono («sumideros»), en el territorio de un país en desarrollo (Parte No Anexo I). Las reducciones certificadas de emisiones que se generen, conocidas como RCE, se pueden usar por la Parte (Anexo I) para ayudar a alcanzar sus metas de reducción de emisiones. Los proyectos MDL se deben aprobar por todas las partes involucradas, deben conducir a un desarrollo sostenible en los países anfitriones y deben derivar en beneficios reales, mensurables y a largo plazo en cuanto a la mitigación del cambio climático.

A fin de participar en el MDL, todas las partes deben cumplir tres requerimientos básicos: participación voluntaria en el MDL, establecimiento de una Autoridad Nacional Designada para el MDL y ratificación del Protocolo de Kyoto.

Proyectos elegibles

El MDL incluirá proyectos en los siguientes sectores: mejoramiento de la eficiencia en el uso final de la energía; mejoramiento de la eficiencia en la oferta de energía; energía renovable; sustitución de combustibles; agricultura (reducción de las emisiones de CH_4 y N_2O); procesos industriales (CO_2 de la industria cementera, etc., HFC, PFC, SF_6); proyectos de «sumideros» (sólo forestación y reforestación).

Financiamiento

Los fondos públicos para los proyectos MDL no deben resultar del desvío de fondos para la asistencia oficial para el desarrollo. Adicionalmente, las RCE generadas por los proyectos MDL estarán sujetas al pago de una tasa, conocida como *share of the proceeds* («la proporción de los ingresos del proyecto») de 2%, la cual será destinada a un nuevo fondo de adaptación de la Convención, cuyo objetivo será ayudar a países en desarrollo, particularmente vulnerables a los efectos adversos del cambio climático. Otra tasa sobre las RCE contribuirá a cubrir los costos administrativos del MDL.

Junta Ejecutiva

La Junta Ejecutiva supervisará el MDL, estará sujeta a la autoridad de la Conferencia de las Partes y la integrarán diez miembros. Acreditará a organizaciones independientes —conocidas como «entidades operacionales»—, las cuales validarán las propuestas de proyectos MDL, verificarán las reducciones de emisiones resultantes y certificarán esas reducciones como RCE. Otra de las tareas clave es la administración de un registro MDL, el cual servirá para la emisión de nuevos RCE, el manejo de una cuenta para los RCE recaudados para el fondo de adaptación y los costos administrativos, y el manejo de una cuenta de RCE para cada Parte no Anexo I que actúe como anfitriona de un proyecto MDL.

Identificación y formulación del proyecto

El primer paso en el ciclo de un proyecto MDL es identificar y formular proyectos potenciales MDL. Un proyecto MDL debe ser real, medible y adicional.

El ciclo de un proyecto MDL tiene siete etapas básicas: diseño y formulación del proyecto, aprobación nacional, validación y registro, financiamiento del proyecto, monitoreo, verificación/certificación, y expedición de los RCE. Las cuatro primeras fases se ejecutan previas a la implementación del proyecto, mientras que las últimas durante la vida útil de este.

Valor y Beneficios Nacionales

El principio básico del MDL es simple: los países desarrollados pueden invertir en oportunidades de reducción a bajo costo en países en desarrollo y recibir créditos por la reducción de emisiones resultantes, reduciendo así las emisiones al interior de sus fronteras.

Desde la perspectiva de los países en desarrollo el MDL puede: atraer capital para proyectos que apoyen un cambio a una economía más próspera pero menos intensiva en carbono; incentivar y permitir la participación activa tanto en el sector público como en el privado y proporcionar una herramienta de transferencia de tecnología, en caso de que las inversiones sean canalizadas para proyectos que reemplacen tecnología vieja e ineficiente basada en combustibles fósiles, o para crear nuevas industrias con tecnología ambientalmente sostenible; ayudar a definir prioridades de inversión en proyectos que cumplan metas de desarrollo sostenible.

El MDL puede contribuir a los objetivos de desarrollo sostenible de un país en progreso a través de transferencia de tecnologías y recursos financieros, alternativas sostenibles de producción de energía, incremento en la conservación y eficiencia energética, disminución de los niveles de pobreza a través de la generación de empleo e ingresos, beneficios locales ambientales.

Implementación del MDL en Cuba

Para establecer las capacidades institucionales y funcionales con vistas a lograr un tratamiento viable a la evaluación y seguimiento de los proyectos MDL, el país

tiene el acuerdo del Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros (CECM) del 2002, donde define al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) como autoridad responsable de la dirección e implementación nacional del MDL; este acuerdo orienta constituir el grupo nacional del MDL y define su composición y funciones.

En la actualidad existen dos proyectos aprobados por el CECM y registrados ante la Junta Ejecutiva de MDL (Figuras 14 y 15) con una reducción de 465 397 toneladas de CO_2 al año y un estimado de beneficios de 4 653 970,00 euros, según los precios actuales en el mercado del carbono con un promedio de 10 euros/ton de «dióxido de carbono equivalente».

Proyecto 0918: ENERGÁS, Varadero Conversión de Ciclo Abierto a Ciclo Combinado. Fecha de registro 22 de junio 2007.

Resulta difícil pronosticar los beneficios disponibles bajo el MDL para los países en desarrollo, pero es claro su enorme potencial para promover el desarrollo sostenible e incrementar el flujo de inversión extranjera. Con una planificación inteligente y el desarrollo de una estrategia nacional, este mecanismo puede abordar problemas ambientales locales y regionales y avanzar en las metas sociales. El objetivo del MDL de promover las metas de progreso de los países en desarrollo reconoce que solamente por medio de un desarrollo sostenible a largo plazo todos los países estarán en capacidad de protagonizar un rol en la protección climática.

IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN CUBA

La adaptación al cambio climático requiere tener evaluaciones adecuadas de los impactos de este que permitan identificar las posibles opciones de adaptación para minimizar los impactos negativos y sacar provecho de aquellos que pudieran resultar positivos. En 1990 el IPCC publicó el primer informe sobre la evaluación científica del cambio climático y sus consecuencias para las actividades socioeconómicas y medioambientales, así como las estrategias de respuesta para enfrentarlo. Sobre la base de este primer informe, las publicaciones disponibles y las investigaciones realizadas en Cuba y utilizando el método del juicio de expertos, se realizó en 1992 una evaluación preliminar del impacto del cambio climático global en el país que sirvió como punto de partida para trabajos posteriores. Se evaluaron los sectores: agricultura; hidrología y recursos hídricos; ecosistemas naturales terrestres; áreas oceánicas y costeras; asentamientos poblacionales; salud y turismo. Los resultados se integraron en un informe de evaluación único con carácter preliminar, teniendo en cuenta las incertidumbres existentes sobre los escenarios climáticos utilizados y la falta de escenarios a nivel regional y local. Los resultados de esa primera evaluación mostraron el elevado nivel de vulnerabilidad de Cuba ante los impactos potenciales del cambio climático.

Posteriormente se realizó una nueva evaluación bajo el Programa Nacional de Ciencia y Técnica



Fig. 14. Conversión de ciclo abierto a ciclo combinado en la planta ENERGÁS, Varadero.

Proyecto 2260: Captura y Destrucción de Metano en el vertedero de calle 100 en Ciudad de La Habana y el vertedero Gascón en Santiago de Cuba. Fecha de registro 27 de febrero 2009.

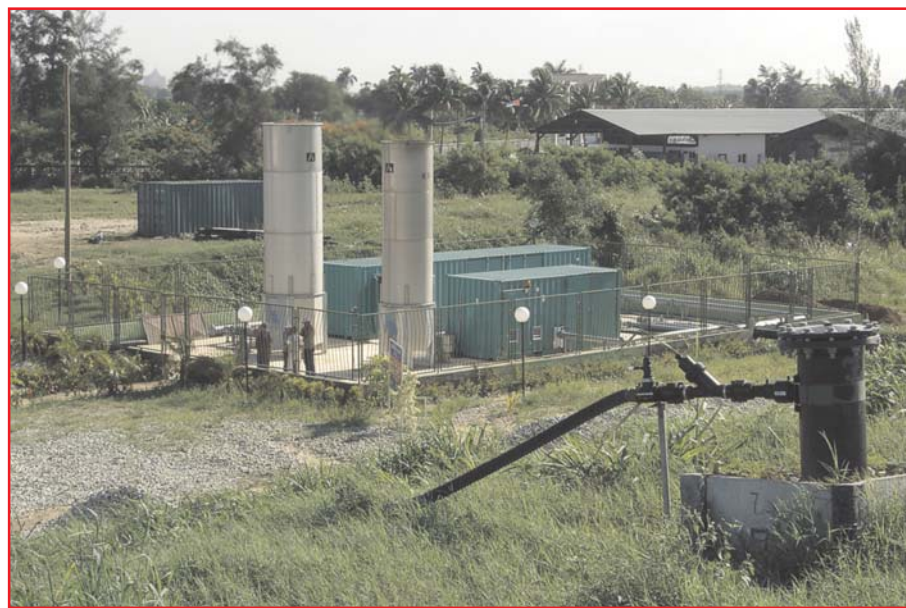


Fig. 15. Desgasificación del relleno sanitario en el vertedero de calle 100 en Ciudad de La Habana (Foto: Mario A. Arrastía Avila).

«Los Cambios Globales y la Evolución del medio ambiente cubano».

Se utilizaron las proyecciones del clima futuro para diferentes plazos de tiempo: 2010, 2030, 2050 y 2100. Se evaluaron cinco sectores: recursos hídricos; zonas costeras y recursos marinos; agricultura y silvicultura; asentamientos humanos; biodiversidad y vida silvestre; y salud humana.

Las proyecciones del clima futuro indicaron que las magnitudes de la temperatura media anual del aire se pudieran incrementar entre 1,6 °C y 2,5 °C para el año 2100. La precipitación presenta una mayor incertidumbre, unos modelos indican la reducción de los totales anuales, otros producen incrementos. En cualquier caso se estima que el incremento de la temperatura sea tan notable que, aún en los casos donde se proyectan incrementos de las precipitaciones, podría ocurrir una intensificación y expansión de los procesos de aridez y sequía. En el caso del nivel del mar, en dependencia del escenario de emisiones considerado y en función de la sensibilidad climática utilizada, las proyecciones futuras indicaron incrementos en el orden de 8 a 44 cm para el 2050 y de 20 a 95 cm para el 2100.

Debido a la intensificación y expansión de la aridez y la sequía se produciría una notable disminución de los recursos hídricos potenciales. La posible evolución de los paisajes cubanos hacia ecosistemas más áridos y más susceptibles a los procesos de desertificación, produciría la disminución de la densidad potencial de biomasa y de la producción primaria neta de los bosques, especialmente en la región oriental del país.

En el caso de la agricultura de no ocurrir el efecto de fertilización por el dióxido de carbono, se produciría una disminución de los rendimientos potenciales de todos los cultivos estudiados alrededor del año 2100. En la caña de azúcar, las disminuciones en los rendimientos serían menores, mientras que en la papa disminuirían notablemente. Si el efecto de fertilización por dióxido de carbono se produce, estos impactos cambiarían. Por ejemplo, el frijol, la soya y el arroz elevarían sus rendimientos, a pesar de que en la papa los rendimientos seguirían disminuyendo.

En relación con las zonas costeras y los recursos marinos, se estimó que los principales impactos sobre los recursos bióticos se producirían debido a las alteraciones que ocasionen el incremento de la temperatura en los ciclos reproductivos; la mayor incidencia de enfermedades; y el blanqueamiento de los corales.

El ascenso del nivel del mar tendría serias implicaciones para los sectores analizados. Para los recursos hídricos la intrusión marina en el agua subterránea sería uno de los impactos más graves, debido a que la mayoría de los acuíferos en Cuba son abiertos al mar. El efecto combinado del ascenso del nivel del mar con el aumento de la aridez tendría un notable impacto sobre los bosques semicaducifolios. La reducción considerable de la superficie de las cayerías interiores de los Golfos de Batabanó, Ana María y Guacanayabo es otro de los impactos esperados por el ascenso del nivel del mar. Para los asentamientos humanos, los mayores impactos estarían vinculados con el ascenso del nivel del mar; para los numerosos asentamientos costeros existe una alta vulnerabilidad y un elevado peligro por inundaciones costeras. Sobre la biodiversidad terrestre los impactos relacionados con el ascenso del mar serían los más importantes, debido a la elevada fragilidad de los ecosistemas costeros. Se estimó que 14% del área boscosa de Cuba se podría afectar, incluyendo buena parte de la vida animal y vegetal a ella asociados.

En el sector de la salud, de las seis enfermedades evaluadas, los impactos futuros producirían un incremento en la afectación de todas, con la excepción del asma bronquial, cuyos efectos económicos podrían provocar la posible duplicación de los costos relacionados con la atención médica. Una fuente importante de incertidumbres es la dependencia de las enfermedades a los futuros factores de riesgo (grupo étnico, grado de urbanización, importancia del asentamiento

poblacional, entre otros), los cuales atenúan o agravan la magnitud de los impactos.

De acuerdo con los escenarios climáticos adoptados, los impactos del cambio climático sobre los sectores seleccionados podrían ser notables y por la condición de archipiélago, los impactos por el ascenso del nivel del mar clasifican como los más importantes. La notable disminución de los recursos hídricos potenciales como consecuencia de la posible intensificación y extensión espacial de la aridez, así como una mayor frecuencia de los procesos de sequía, afectaría sensiblemente la relación disponibilidad-demanda-entrega de agua y como consecuencia afectaría todos los usos del recurso, en especial la producción de alimentos y el consumo humano. El incremento de la aridez tendrá un peso muy importante en la reducción de las áreas boscosas del país y por consiguiente, en la pérdida de la biodiversidad a ellos asociada, lo que podría imponer la necesidad de realizar cambios sustanciales en el uso de la tierra, cuya superficie se verá reducida ante el incremento del nivel del mar. Los recursos naturales de gran importancia económica y social incrementarían su vulnerabilidad ante la afectación de eventos meteorológicos extremos a causa del ascenso del nivel del mar. También se verían afectados los recursos bióticos marinos, los que al reducirse, limitarían su empleo en la alimentación de la población. Un número importante de asentamientos humanos incrementaría su vulnerabilidad como resultado de la elevación del nivel del mar, con lo que una mayor cantidad de habitantes se encontraría bajo el peligro de inundaciones por penetración del mar.

ENFRENTAMIENTO AL CAMBIO CLIMÁTICO

El trabajo interinstitucional que ha caracterizado el quehacer nacional en el tema del cambio climático en Cuba, se inició desde principios de la década del 90 con el establecimiento por la Academia de Ciencias de Cuba de la Comisión sobre Cambio Climático que convocó alrededor de 70 especialistas de más de 15 instituciones y ministerios. El propósito de esta Comisión fue realizar una evaluación preliminar sobre las repercusiones potenciales del cambio climático global en el territorio nacional, las capacidades y datos e informaciones disponibles y las limitaciones relacionadas con la observación del clima y la composición atmosférica. Con este antecedente, a partir de 1997 se han desarrollado un conjunto de acciones que han facilitado el desarrollo de una masa crítica de expertos nacionales, el fortalecimiento institucional y una amplia difusión del conocimiento sobre el cambio climático en el país.

La preparación de la Primera Comunicación Nacional (PCN) a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y las actividades posteriores ha permitido aumentar, sistematizar e integrar los conocimientos sobre el cambio climático. El proceso de la PCN ha resultado la principal fuente de oportunidades para la capacitación de los recursos humanos y el fomento de capacidades a todos los niveles, para asegurar la sostenibilidad de las actividades relacionadas con el cambio climático. Su contenido constituye la línea base de todo el trabajo posterior realizado en el país en este tema.

Cuba tiene una amplia participación internacional en actividades relacionadas con el cambio climático mediante la colaboración de sus expertos, en el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, en grupos de expertos de la CMNUCC y la asistencia técnica y la capacitación del personal de varios países de la región en la preparación de sus comunicaciones nacionales. Con el objetivo de investigar sobre la sequía y el cambio climático, sus impactos y las medidas de adaptación correspondientes, se ha participado en un proyecto binacional con la República Dominicana y en otro regional con Centroamérica y México, ambos con asistencia financiera y técnica internacional. La estrecha colaboración con el Centro Caribeño de Cambio Climático es otra de las actividades inter-

nacionales que el país desarrolla en la región. Este es un ejemplo de cooperación triangular Norte-Sur-Sur.

El problema del cambio climático tiene una gran complejidad, es multisectorial y a la vez transversal. La alta sensibilidad y la voluntad política de las autoridades del país ante un reto como el cambio climático, ha permitido continuar las investigaciones haciendo uso de la experiencia acumulada, de las nuevas evidencias científicas y de las nuevas herramientas de análisis y evaluación. En la actualidad se está desarrollando una nueva evaluación sobre los impactos y las medidas de adaptación en Cuba que tiene en cuenta todas las investigaciones realizadas después del año 2000, como parte de la elaboración de la Segunda Comunicación de Cuba a la Convención Marco de las Naciones sobre el Cambio Climático y se ejecuta un macroproyecto destinado a evaluar los efectos del aumento del nivel en las zonas costeras.

Programa integral cubano frente al cambio climático

La investigación científica orientada al tema del cambio climático como una prioridad del país, es uno de los elementos que permite a Cuba plantearse un programa dirigido a afrontar el reto del cambio climático. Posterior a la evaluación preliminar sobre los impactos potenciales del cambio climático se ha realizado una amplia labor de investigación científica sobre este fenómeno global, bajo el amparo de programas nacionales (PNCT) y ramales (PNCT) de ciencia y técnica. En particular, los proyectos concluidos en el marco del PNCT «Los Cambios Globales y la Evolución del medio ambiente cubano» han aportado importantes resultados y herramientas.

La Directiva No. 1-2005 del Vicepresidente del Consejo de Defensa Nacional para la planificación, organización y preparación del país para situaciones de desastres, constituyó el inicio de un programa integral para la adaptación al cambio climático y su mitigación, el «Programa para el Enfrentamiento al Cambio Climático», aprobado en octubre del 2007. Su principio esencial es el fortalecimiento de las capacidades sistémicas individuales e institucionales para poder responder al reto representado por el cambio climático, apoyándose en las capacidades existentes desarrolladas en los diferentes programas afines existentes. Tributan a este programa otros como: Ahorro y uso racional del agua (PAURA), Mejoramiento y conservación de los suelos; Enfrentamiento a la sequía, Lucha contra vectores, Protección contra incendios forestales y el Plan Turquino. También se apoya en la Estrategia Nacional sobre la Diversidad Biológica y su plan de acción y el Plan Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía y en los programas de investigación sobre cambios globales, el medio ambiente, la agricultura, la energética y otros. El programa consta de dos componentes:

Adaptación al cambio climático:

- Estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgo (PVR).
- Impactos del ascenso del nivel del mar sobre la zona costera cubana (escenario actual y futuro).
- Programas, planes y proyectos sectoriales y ordenamiento territorial.
- Actualización de la legislación vigente sobre medio ambiente, adecuándola a la política y pensamiento cubano sobre el cambio climático.
- Gestión ambiental-riesgo. Monitoreo sobre el estado y calidad de la zona costera.
- Incorporación a la Estrategia Ambiental Nacional (EAN), en su expresión sectorial las tareas del enfrentamiento al cambio climático.
- Educación-cultura ambiental.

Mitigación del cambio climático:

- Revolución energética-inventario nacional de emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero (INEAGEI).

Adaptación al cambio climático

El clima en Cuba presenta tendencias que justifican la necesidad de actuar desde ahora para adaptarnos. Los cambios sufridos por el clima durante las últimas cuatro décadas evidencian la existencia de una variación importante en la década del 70, las tendencias encontradas también son consistentes con las proyecciones del IPCC para un efecto invernadero incrementado en la atmósfera. Otras evidencias justifican una adaptación temprana al cambio climático como son: el incremento de la sequía agrícola en extensión superficial, intensidad y duración a partir de la segunda mitad del siglo XX; aumento anualmente del área afectada por los incendios forestales, incidiendo sobre zonas anteriormente no afectadas; y el incremento de las tierras secas (semiáridas y subhúmedas) durante el período 1971-2000, al compararlo con el período 1961-1990.

Adaptarse al cambio climático es el reto mayor y más costoso; al ser Cuba un archipiélago, los impactos potenciales del cambio climático y el posible aumento de los desastres relacionados con eventos meteorológicos extremos y el aumento del nivel del mar, indican que la adaptación es lo más importante a considerar en el Programa Integral para afrontar el cambio climático. La adaptación al cambio climático proyectado no es una cuestión para el futuro, es un proceso que comienza desde ahora. Estar mejor adaptados a la variabilidad actual del clima permitirá estar mejor preparados para un clima futuro cambiante. La vulnerabilidad al cambio climático se reduce en la medida en que aumenta la capacidad de adaptación. Entre las fortalezas con que cuenta Cuba como parte de su capacidad de adaptación está: disponer de sistemas de alerta temprana plenamente operativos; herramientas imprescindibles cuando hay que tomar las decisiones más adecuadas ante situaciones creadas por la variabilidad y el cambio climático, en particular por fenómenos extremos como ciclones tropicales, intensas lluvias o severas sequías. Los propios sistemas de alerta temprana constituyen medidas de adaptación preventiva.

Los estudios de PVR hacen posible integrar conocimientos aportados por diversas ramas de la ciencia y proporcionar información, datos y mapas, elevar la percepción de los riesgos y la preparación de los dirigentes y de toda la población, contribuyendo al aumento de la capacidad de adaptación al cambio climático. La Figura 16 muestra uno de los resultados de estos estudios. Por otra parte, los estudios en función de la gestión y reducción del riesgo constituyen herramientas para la toma de decisiones en relación con la producción de alimentos, con el proceso inversionista en el turismo y la explotación petrolera, y otras áreas del desarrollo económico y social. Con el objetivo de evaluar el impacto del ascenso del nivel del mar sobre la zona costera cubana se encuentran en ejecución un conjunto de proyectos agrupados, conocido como «macro-proyecto», que permiten conocer los escenarios del peligro por ascenso del nivel del mar para los años 2050 y 2100 con vistas a proponer las principales medidas de adaptación, en el que participan 12 instituciones con más de 300 especialistas. Al concluir la segunda etapa del «macro-proyecto» se ratifica como principal peligro para el archipiélago cubano el ascenso paulatino del nivel del mar y se cuantifica la alta vulnerabilidad, actual y futura de la zona costera y el papel protector de los ecosistemas de manglar y de las crestas arrecifales, y de las playas. Se incorpora la dimensión de la adaptación a los programas, planes y proyectos sectoriales vinculados a la producción de alimentos (incluyendo la sanidad animal y vegetal); la higiene y la epidemiología; el manejo integral del agua; la construcción; el ordenamiento territorial de la zona costera; y las nuevas inversiones y planes estratégicos.

Son numerosas las acciones en curso, entre ellas la rehabilitación de playas. También se realizan tareas en la producción de alimentos como el rescate de sistemas de riego más eficientes, el uso racional de

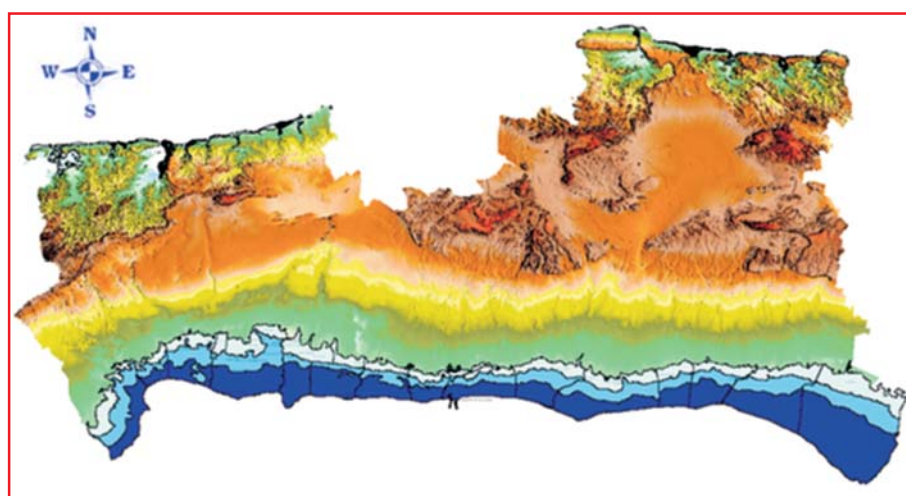


Fig. 16. Peligro de inundación costera por penetraciones del mar para diferentes categorías de huracanes: Provincia de La Habana.

agroquímicos y la adecuación de tecnologías de producción agrícola en correspondencia con las condiciones del clima en Cuba.

Mitigación del cambio climático

La contribución de la República de Cuba al calentamiento global es muy reducida. En el año 2004 aportaba aproximadamente sólo 0,1% de las emisiones globales de CO₂ (López *et. al.*, 2007). Programas como la Revolución Energética, en marcha desde 2005, son una contribución a la mitigación del cambio climático. Calificada como una experiencia importante en la lucha contra la ineficiencia energética y el cambio climático, incluye otros pilares como el ahorro de energía, el desarrollo de las fuentes renovables de energía y la concientización y educación ambiental sobre temas de energía y medio ambiente de la población en general (Pichs R., 2008). El esfuerzo realizado por este pequeño país muestra cuánto se puede hacer por mitigar el cambio climático con medidas que están al alcance de todos, que a la vez representan importantes beneficios económicos cuando existe la voluntad política para realizarlo. El incremento del área forestal a partir del triunfo de la Revolución ha sido una importante contribución al medio ambiente en Cuba. En el 2005 casi 25% de la superficie del país estaba cubierta por bosques. Ellos juegan un importante papel en la remoción de gases de efecto invernadero de la atmósfera por la absorción del CO₂, fijando el carbono a la madera mediante la fotosíntesis y contribuyendo a la fijación de este elemento en el suelo. El sector forestal en Cuba ha sido un sumidero neto de dióxido de carbono en los años 1990-2002 (López *et. al.*, 2007).

La implementación continua de la Revolución Energética con énfasis en el ahorro de energía, la eficiencia energética y la utilización de fuentes renovables de energía, es una tarea que tributa al Programa de Enfrentamiento al Cambio Climático.

LA REVOLUCIÓN ENERGÉTICA DE CUBA Y EL ENFRENTAMIENTO AL CAMBIO CLIMÁTICO

En el año 2006 el *World Wildlife Fund* (WWF), la organización internacional más importante para la protección del medio ambiente, subrayó en su informe anual «*Planète Vivante 2006*», que Cuba es la única nación del mundo que ha alcanzado un desarrollo sostenible. Es el único país que consigue un equilibrio entre el bienestar de sus ciudadanos y la conservación del medio ambiente. Es el primer país del mundo en integrar en su Constitución el concepto de sostenibilidad, idea ligada a los principios del socialismo.

Un ejemplo más de esta labor que por años se viene desarrollando, partiendo de los conceptos básicos de desarrollo sostenible y preocupación por enfrentar el cambio climático es la estrategia denominada Revolución Energética en Cuba. Su objetivo fundamental es la transformación radical de los procesos de generación, distribución y consumo final de la electricidad, apuntando a la eficiencia energética y a la mitigación

de los gases de efecto invernadero. Por la magnitud y trascendencia de este proceso, la Asamblea Nacional del Poder Popular acordó nombrar el año 2006 como «Año de la Revolución Energética en Cuba».

Según Yvo de Boer, secretario ejecutivo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, la eficiencia energética «es el medio más prometedor para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a corto plazo».

Situación anterior a la Revolución Energética

En los años 2004 y 2005 el país se encontraba en una crisis energética caracterizada por la ineficiencia en generación, distribución y consumo de la electricidad. Dentro del sector residencial existían numerosos electrodomésticos ineficientes, 85% de la población cocinaba con queroseno. La tarifa eléctrica residencial no estimulaba al ahorro, ya que era prácticamente plana, o sea que si se consumía más, prácticamente se pagaba lo mismo, lo que motivaba una insuficiente cultura de ahorro.

El sistema eléctrico del país se basaba en grandes e ineficientes plantas termoeléctricas con 25 años de explotación como promedio, un alto índice de emisiones de gases de efecto invernadero, frecuentes averías y altos insumos. Esta situación provocaba que existieran frecuentes apagones, principalmente en el horario de máxima demanda, llegándose a contabilizar 224 días con apagones mayores de 100 MW con más de una hora de duración en el año 2005. Además, había un alto porcentaje de pérdidas en las redes de distribución eléctrica.

En junio del 2005 la máxima demanda fue 2129 MW y para cubrirla se realizaba con la siguiente estructura: 2% con hidroeléctricas, 72% con centrales térmicas y 8% con turbinas de gas. Se alcanzó un déficit del 18% en la demanda y se dejó de servir aproximadamente 1400 GWh en el año.

Programas de la Revolución Energética

Un grupo de iniciativas planteadas en el marco del Programa consideraron el aumento de las energías renovables, como el uso de la biomasa, la energía solar, eólica y la hidroenergía. Se planteó también, mejorar e incrementar la disponibilidad y eficiencia del servicio eléctrico a partir de medidas como el uso de los sistemas de generación distribuida y la rehabilitación de las redes eléctricas de suministro.

Beneficios de la Generación Distribuida

- 1) Bajos valores de consumos propios e índices de consumo de combustible: 200-220 g/kWh generado.
- 2) Disponibilidad de potencia mayor a 90%.
- 3) Valores de potencia unitaria, cuya capacidad en caso de avería, no incide en el SEN.
- 4) Entrada de capacidad de generación en corto tiempo.
- 5) Reducción de pérdidas de transmisión y subtransmisión.
- 6) Generación en microsistemas aislados con reducción de riesgos ante catástrofes.

Otras medidas que se asumieron en el marco del Programa son el incremento de la exploración y producción de petróleo y gas, el ahorro y uso eficiente de la energía en varios sectores consumidores y usos finales de la energía como: refrigeración y aire acondicionado, térmico, iluminación, bombeo de agua, cocción de alimentos, calentamiento de agua, entre otros.

Entre las medidas de carácter organizativo que se proponen están las campañas, capacitación y educación sobre el uso eficiente de la energía con cobertura

nacional, la colaboración internacional en base a las experiencias locales y el objetivo primordial de reducir paulatinamente los gases de efecto invernadero, así como mejorar el índice de emisiones por kilowatt-hora generado.

Programa de uso racional de la energía

En el sector residencial se realizó un importante número de proyectos apoyados, dirigidos y financiados por el estado como es el cambio de equipos ineficientes realizados casa a casa por los trabajadores sociales. Entre los equipos sustituidos en este sector están: 9 470 710 bombillos incandescentes, donde prácticamente se realizó el cambio del 100%, 265 505 equipos acondicionadores de aire, donde se realizó el cambio del 88%, 1 043 709 ventiladores, el cambio fue 100%, 230 504 televisores, que representa 22% de cambio, 67 568 motores para el bombeo de agua con un cambio del 100% y 2 550 997 de refrigeradores sustituidos, lo que representa 96% de refrigeradores existentes en el país. El cambio de refrigeradores y aires acondicionados tenía como objetivo proyectar, asegurar, implementar y controlar el sistema para sustituir los equipos ineficientes, recuperar el refrigerante y que no escaparan los CFC a la atmósfera y agotaran la capa de ozono, así como reciclar los materiales recuperables. Con esta acción se recuperaron más de 100 toneladas de Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono.

Además, se entregaron equipos que mejoran la eficiencia en el uso de la energía como ollas arroceras, ollas de presión eléctrica y otros.

Otros de los proyectos es la realización de experimentos previos y monitoreo constante de los resultados en la búsqueda de nuevas soluciones de eficiencia energética y de profundo carácter social, con posibilidad de créditos según ingresos para adquirir los equipos.

En el sector estatal se han sustituido más de 1300 bombas de agua ineficientes por eficientes en acueductos y alcantarillados públicos, se han instalado más de 800 000 tubos fluorescentes de 32 W y balastos electrónicos en sustitución de los de 40 W y balastos electromagnéticos, en este último se ha incluido el reciclaje de las lámparas de 40 W que por su alto contenido de mercurio se convierten en un producto de destrucción controlada (Figura 17). Se han instalado más de 350 bancos de condensadores en clientes penalizados por bajo factor de potencia.



Fig. 17. Procesamiento seguro de lámparas fluorescentes (Foto: Mario A. Arrastía Avila).

En los centros estatales que son grandes consumidores se han tomado medidas especiales para la regulación de la demanda y acomodo de carga en 1720 servicios seleccionados y se han efectuado 342 supervisiones energéticas con un potencial de ahorro de 60 GWh/año.

Otras medidas son la implantación del sistema de Gestión Total Eficiente de la Energía en los servicios seleccionados, la elaboración y control de los planes de consumo de electricidad, así como la capacitación de los responsables del control de la energía en estos centros.

Se ha trabajado en el cambio de equipos ineficientes por eficientes en el ferrocarril, en el transporte para atender las redes eléctricas y el transporte urbano. Se ha aplicado el reordenamiento del transporte de carga del país y su planificación por índices de consumo físico en cada sector de la economía. Otra medida aplicada de gran impacto económico ha sido la remotorización de equipos de alto consumo.

Programa para la promoción y desarrollo de las fuentes renovables de energía y la eficiencia energética

En la actualidad, después de tres años de aplicación de la Revolución Energética se ha propuesto para la aprobación del Consejo de Estado, la Regulación denominada: «Lineamientos para la promoción y desarrollo de las fuentes renovables de energía y la eficiencia energética».

Este documento tiene como objetivo establecer las pautas generales para promover y desarrollar las fuentes renovables de energía y el uso eficiente de la energía a nivel nacional en proyectos o aplicaciones que aprovechen estas fuentes o que propicien un uso más eficiente de la energía. Fundamentada, entre otros aspectos, en la necesidad de elaborar un marco regulatorio, crear la infraestructura y las capacidades tecnológicas requeridas para el desarrollo de las producciones y servicios nacionales relacionados con la eficiencia energética, así como facilitar la participación de la inversión extranjera en proyectos relacionados con estos temas. Es necesario continuar elevando la conciencia energética como condición imprescindible para cualquier empeño de mejorar la relación demanda/suministro energético con el cuidado ambiental a todos los niveles requeridos, llegando a la unidad base de la sociedad que es la familia.

Programa de transformaciones del sistema eléctrico nacional

Uno de los profundos cambios conceptuales inherentes a la Revolución Energética radica en el establecimiento de los grupos electrógenos diesel y de fuel oil, sincronizados al Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Se trata de equipos con bajo consumo energético, alta disponibilidad, facilidad para su instalación y niveles de potencia unitaria inferiores a las termoeléctricas.

Con la entrada de grupos electrógenos sincronizados de generación distribuida se alcanzó una capacidad de 1320 MW diesel y más de 800 MW en fuel oil, que debe continuar creciendo en este combustible hasta más de 1700 MW.

Se instalaron más de 6000 nuevos grupos de emergencia, alcanzando una potencia de generación de 690,2 MW para consumidores claves como centros de salud, centros de elaboración de alimentos, bombeos y potabilizadoras de agua, centros vinculados a la educación, hoteles y centros vinculados al turismo y a la economía.

Con la entrada de grupos electrógenos, los días con apagones mayores de 100 MW y con más de una hora de duración se redujeron de 188 y 224 días en los años 2004 y 2005, a tres días en el año 2006, y a 0 días en los años 2007 y 2008.

La generación eléctrica hasta julio del 2008 fue cubierta en 61% desde centrales térmicas, 15% con generación distribuida a fuel oil, 14% con turbinas de gas, 9% con generación distribuida a diesel, y 1% restante provino de centrales hidroeléctricas.

La demanda futura (julio 2011) se prevé que esté en 2730 MW, de los cuales se establece que la genera-

ción eléctrica provendría bajo la siguiente composición: 56% fuel oil, 22% gas, 19% térmicas, y el 3% diesel e hidroenergía.

La aplicación de la Generación Distribuida ha traído como resultado mejorar la eficiencia en el sistema de generación de electricidad. Con la introducción de esta tecnología en sustitución de las termoeléctricas más ineficientes, se ha logrado reducir el índice de consumo de 285 a 265 g/kWh y los insumos de 6,41% a 5,44%.

Resultados de la Revolución Energética

Todas las acciones desarrolladas con la Revolución Energética han tenido impactos en tres direcciones fundamentales: económica, social y energético-ambiental. Desde el punto de vista económico se señala el ahorro de energía eléctrica en el sector residencial y estatal, lo que permitió disminuir la inversión de cuantiosos recursos en la generación de electricidad, utilizando este presupuesto ahorrado en otros proyectos sociales y por consiguiente, la disminución de cantidad de combustible utilizado en el país.

Desde el punto de vista social se aprecia una mejora de las condiciones de vida de las familias cubanas, reduciendo el consumo eléctrico de la vivienda, mejorando su economía familiar; lo que fomenta hábitos y costumbres en el uso racional de los portadores energéticos.

En cuanto al impacto energético-ambiental se redujo la máxima demanda eléctrica del sistema de generación del país, retardando nuevas inversiones en plantas generadoras. Disminuyó la carga de contaminantes a la atmósfera, prolongando así el tiempo de duración de la reserva de combustibles fósiles del país y disminuyendo el impacto ambiental por el uso irracional de estos en la generación de energía eléctrica.

Si tomamos como base el año 2005 y adicionamos la energía que se dejó de servir por déficit de generación podemos concluir que las emisiones netas en los años posteriores se redujeron como promedio 7,34% y el índice de emisión dado en toneladas de dióxido de carbono emitido por megawatt-hora generado mejoró de 0,86 a 0,80 tCO₂/MWh hasta el 2008.

Entre las medidas tomadas resalta la venta de nuevos equipos electrodomésticos de alta eficiencia a más de tres millones de familias cubanas.

Como resultado de la aplicación de estos conceptos, Cuba ha sido el primer país del mundo en programar por fases, la sustitución de luminarias ineficientes; y más de nueve millones de lámparas incandescentes se han sustituido por lámparas fluorescentes, quedando prohibida la importación de lámparas incandescentes al país.

Las campañas de eficiencia energética también alcanzan a los equipos de cocina, y en este sentido el queroseno y GLP están siendo desplazados por la electricidad. Asimismo, se han establecido rigurosos controles al consumo de electricidad y combustible.

Las estaciones de potencia de ciclo combinado con gas como combustible y las energías renovables están jugando también un papel clave dentro del sistema eléctrico cubano.

El uso de energía eólica para generar electricidad y bombear agua, y la utilización de energía solar térmica para agua caliente doméstica en instituciones sociales y determinadas industrias, están experimentando una expansión. En igual sentido se trabaja en la energía solar fotovoltaica, el biogás, la biomasa cañera y forestal y otras fuentes renovables.

Se han considerado como actividades prioritarias la rehabilitación de las líneas de distribución a fin de disminuir las pérdidas de energía (Figura 18), el incremento de la producción de petróleo y gas nacional (la producción de petróleo de Cuba ya cubre 48% del consumo de la Isla).

Los programas de la Revolución Energética han permitido un ahorro global de 2 365 000 toneladas equivalentes de petróleo. Ello permitió dejar de emitir a la atmósfera más de tres millones de toneladas de

gases de efecto invernadero, una contribución cubana a la mitigación del calentamiento global y el cambio climático.



Fig. 18. Rehabilitación de redes de distribución (Foto: Mario A. Arrastía Avila).

BIBLIOGRAFÍA

- Amarales M, et. al. Determinación de las emisiones máximas admisibles en las fuentes móviles. Medidas de control y mitigación. Informe final. CETRA. Cuba, 2008.
- Arrastía Avila MA, Corp Linares S. Energía solar para tí. La Habana. Editorial CUBAENERGÍA. 2008.
- Arrastía Avila MA. Hacia un nuevo paradigma energético. Juventud Rebelde. 13 de enero del 2009.
- Arrastía Avila MA. Almacén inacabable. Juventud Rebelde. 31 de marzo del 2009.
- Arrastía Avila MA. El almacén que nos falta. Juventud Rebelde. 7 de agosto del 2009.
- Arrastía Avila MA, López D. The Energy Revolution of Cuba: a transition towards a new energy paradigm. Experiences on educating the consumers. Documento de trabajo. CUBAENERGÍA, 2010.
- Arrastía Avila MA. Unidades de energía y potencia. Energía y Tú. 2009; (45): 29-32.
- Boden T, Marland G, Andres RJ. Global CO₂ Emissions from Fossil Fuel Burning. Cement Manufacture and Gas Flaring. CDIAC. Oak Ridge: Oak Ridge National Laboratory. 2009.
- Bérriz R, Bueno F. Problemas ambientales globales. GEA, 1998.
- Blanco JA. El tercer milenio, La Habana: Centro Félix Varela, 1998.
- Brodianski VM. Móvil perpetuo antes y ahora, Colección Ciencia Popular, Editorial Mir. Moscú, 1990.
- Brown LR. Plan B 4.0: Mobilizing to Save Civilization. Earth Policy Institute. 2009 [en línea] <http://www.earth-policy.org/Books/PB34>
- Cabrera JJ. Globalización y medio ambiente en América Latina y el Caribe. Centro de Estudios de América, 1999.
- Centella A, Paz L, López C, Limia M. Grupo Nacional de Cambio Climático. Primera Comunicación Nacional de la República de Cuba a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio climático. La Habana: Instituto de Meteorología-CUBAENERGÍA, 2001. 169 p.
- Commission on Oil Independence. Making Sweden an Oil-Free Society. DTI (Department of Trade and Industry) Meeting the Energy Challenge, A White Paper on Energy, May 2007. 343 p.
- Documento de trabajo: Análisis para la eventual puesta en marcha de un programa nuclear para generación eléctrica en Uruguay. Montevideo, Octubre 2008.
- Donald A. Transitioning to a Renewable Energy Future. White Paper; escrito bajo contrato con la International Society for Solar Energy. 2003. 59 p. [en línea] <http://whitepaper.ises.org>.
- Duchin, Faye, Lange, Glenn-Marie, Thonstad, Knut & Idenburg, Annemarth. The Future of the Environment: Ecological Economics & Technological Change. Oxford University, Nueva York. 1994; 222 p.
- Enciclopedia Océano de la Ecología. España, 1995.
- Engels F. Dialéctica de la naturaleza. La Habana. Editora Política, 1979. 74- 166 p.
- European Renewable Energy Council and GREEN PEACE International Energy Revolution. A Sustainable World Energy Outlook. 2007. 96 p. [en línea] www.greenpeace.org, www.erec.org.
- Feynman RP, Leighton RB, Sando M. The Feynman Lectures on Physics, Vol. 1 Addison-Wesley, Massachusetts, 1963.
- Foro de la Industria Nuclear Española. Contribución de la Energía Nuclear al Desarrollo Sostenible. Agosto 2002.
- Goldsmith E, Hildyard N. Barcelona, 1992.
- González A. La Gestión del Conocimiento en temas energéticos: una herramienta para enfrentar el cambio climático. 6to. Taller Internacional de Energía y Medio Ambiente. Cienfuegos, 2010.
- GREENPEACE, Consejo Europeo de Energía Renovable (EREC). Revolución Energética. Perspectiva Mundial de la Energía Renovable. GPI REF JN 035. Enero 2007.
- Gutiérrez T, Centella A, Limia M, López M. Impactos del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba (inédito). Informe Técnico. 2000. 207 p.
- Houtart F. La AGROENERGÍA. Solución para el clima o salida de la crisis para el capital. La Habana. Editorial Ciencias Sociales, 2009. ISBN 978-959-06-1172-8.
- Hofman DJ. The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI), 2009.
- Key World Energy Statistics. International. Energy Statistics. Paris: IEA, 2009a. 82 p.
- CO₂ Emissions from Fuel Combustion. Highlights. Paris: IAE, 2009b. 124 p.
- INFORME TIERRA. Guía de la A a la Z sobre temas medioambientales.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. Impactos Ambientales de la Producción Eléctrica. Análisis de Ciclo de Vida de ocho tecnologías de generación eléctrica. M-28407-2000. Madrid, Julio 2000.
- International Energy Agency. How the energy sector can deliver on a climate agreement in Copenhagen, Special early excerpt of the World Energy Outlook 2009 for the Bangkok UNFCCC meeting, OECD/IEA. October 2009: 14 p.
- InterAcademy Council. Lighting the Way: toward a sustainable energy future. Copyright InterAcademy Council. 2007. 174 p.
- International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). Energy in a Finite World. A Global Systems Analysis. Ballinger Publishing Company, Cambridge, Massachusetts. 1981. 835 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Carbon Dioxide Capture and Storage. Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. 2005.
- López C. Introducción a la Gestión de la Calidad del Aire. Instituto de Meteorología-DESOFT, 2006. 703 p. ISBN: 978-959-282-049-4.
- López C, Fernández PV, Manso RW, Valdés A, et al. Emisiones y Remociones de Gases de Efecto Invernadero en Cuba. Reporte para el Año 2004. La Habana, CITMA/AMA/Instituto de Meteorología, nov 2009. 37 p.
- NOAA Earth System Research Laboratory, Global Monitoring Division, Boulder, CO. Updated September 04 2009. [en línea] <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/index.html>
- Novatlantis ETD. Steps for a 2000 watt per capita society. 2004. 63 p.
- Nuclear Power Reactors in the World. Reference Data Series No. 2. Vienna: IAEA, April 2006.
- Pichs R. Cambio climático. Globalización y subdesarrollo. La Habana: Editorial Científico-Técnica, 2008. ISBN 978-959-05-536-2.
- PNUMA. Guía simplificada del Informe especial sobre captura y almacenamiento de dióxido de carbono del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 2006.
- Schwartzman D. The limits to entropy: continuing misuse of thermodynamics in environmental and Marxist theory. Science & Society, Vol. 72, No. 1. 2008; p. 43-62, January.
- Stern N. Stern Review: the Economics of Climate Change. 2006. 615 p. Documentos en formato pdf. [en línea] www.sternreview.org.uk:
- Turrini E. El camino del sol. La Habana: CUBASOLAR, 1999.
- UK Energy Research Centre. Global Oil Depletion. An assessment of the evidence for a near-term peak in global oil production. ISBN number 1-903144-0-35. UKERC, August 2009.
- Universidad Para Todos. Curso Cambio Climático. Partes 1 y 2, 2008.
- UNDP, UNDESA, WEC. World Energy Assessment: Energy and the Challenge of Sustainability. UNDP, Bureau for Development Policy, 2000. 508 p.
- UNDP, UNDESA y WEC. World Energy Assessment: Overview update 2004. UNDP, Bureau for Development Policy, 2004. 85 p.
- UNFCCC. National greenhouse gas inventory data for the period 1990-2007. FCCC/SBI/2009/12, 2. Bonn, October 2009. 27 p.
- Villarreal JM, et. al. Evaluación de emulsiones y mezclas alcohol-diesel en vehículos automotores cubanos. Informe final. CETRA, 2007.
- World Commission on Environment and Development. Our common future. Oxford: Oxford University Press, 1988. 383 p.
- World Energy Council. The Energy Industry unveils its blueprint for tackling Climate Change. WEC Statement 2007. Consejo Mundial de la Energía. 2007. 8 p. [en línea] www.worldenergy.org.
- WMO (2008): WMO Greenhouse Gas Bulletin No. 4, World Meteorological Organization. World Data Centre for Greenhouse Gases, Japan Meteorological Agency, Tokyo, November 2008. 4 p.
- WRI-CAIT: Climate analysis indicators tool. World Resources Institute. 2009. [en línea] <http://cait.wri.org>.