

# Energía y preservación del medio ambiente: articulación escabrosa para el siglo XXI

## Introducción

El agotamiento paulatino de los recursos energéticos existentes, su impacto en el cambio climático, la salud, la conservación y ahorro de la energía; la disponibilidad real de alternativas basadas en fuentes renovables y su dependencia de la evolución de la población del planeta y de los nuevos adelantos y descubrimientos científico-tecnológicos en este campo, son hoy temas candentes y continuarán siendo medulares para el futuro de la humanidad. Pero el porvenir de la energía, su relación con el medio ambiente y la sostenibilidad integral del planeta son cuestiones muy complejas y controvertidas. Ilya Prigogine, Premio Nobel de Química 1977, expresó una vez: “el futuro no puede predecirse, pero sí diseñarse”. Las ideas, reflexiones y conceptos que figuran a continuación están inspirados en ese pensamiento y basados en anteriores publicaciones del autor sobre el tema [1,2]. Se abordan desde una perspectiva del balance global de la energía, de la influencia de los diversos escenarios energéticos y sus implicaciones en el entorno y la sociedad, sin adentrarse en detalles o enfoque tecnológicos, que están recogidos de manera documentada en otro artículo [3] del presente número especial 40, de la revista *Nucleus*, con motivo de su aniversario 20.

El acceso a la energía ha sido siempre un prerequisite del desarrollo económico. A su vez, la prosperidad que éste trae, estimula la demanda de más servicios y de mejor calidad, particularmente en la energética. Sin embargo, en materia de energía la única manera de tener un futuro seguro es producirla y usarla de manera sostenible, de forma compatible con las prioridades ambientales de la sociedad. Para estar en condiciones de determinar cuáles fuentes energéticas utilizar y cómo emplearlas en el siglo XXI, se debe contar además con un consenso social que acepte una premisa básica: para que haya un verdadero desarrollo económico tiene también que haber un desarrollo humano equivalente, en el que la educación, la cultura y el conocimiento sean los principales pilares, asociados a la igualdad de oportunidades, la justicia social y el acceso al desarrollo del que está privado una parte importante de la humanidad. Pero vinculados además a factores importantes que incluyen el desarrollo del comercio internacional, de la economía, de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), de las ciencias y tecnologías modernas, y otras que traerán aparejados grandes cambios en los hábitos y costumbres de vida de la población mundial.



**Fidel Castro Díaz-Balart**

Asesor Científico del Presidente del Consejo de Estado de la República de Cuba. Doctor en Ciencias Físico-Matemáticas por el Instituto de Energía Atómica I.V. Kurchatov y Doctor en Ciencias por el Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas de La Habana. Es Académico de la ACC. Fue Secretario Ejecutivo de la Comisión de Energía Atómica de Cuba entre 1980-1992 y fundador de la revista *Nucleus*.  
[ofascience@enet.cu](mailto:ofascience@enet.cu)

Es una realidad, que muchos países han establecido un círculo poderoso de mejoras en la infraestructura de energía y el crecimiento económico. Pero en los países más pobres del mundo, el proceso apenas ha tocado el suelo. Según datos publicados recientemente por la World Energy Outlook (WEO) [4], casi 1,6 mil millones de habitantes en los países en vías de desarrollo no tienen acceso a la electricidad, lo que representa cerca de un tercio de la población mundial. Para el 2030, la mitad de la población de África sub-sahariana estará todavía sin electricidad, y África será la única región, donde el número absoluto de personas sin acceso a la electricidad aumentará.

El informe de la WEO destaca además que, entre el 2002 y 2030, el número de personas que dependen de combustibles tradicionales para cocinar y calentarse crecerá, de cerca de 2,4 mil millones en 2002 a más de 2,6 mil millones en 2030. Sólo en África sub-sahariana 996 millones de seres humanos dependerán de la biomasa tradicional para cocinar y calentarse. El quemado ineficiente de la biomasa puede ser una causa mayor de contaminación del aire interior. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que cada año 1,6 millones de mujeres y niños en los países en vías de desarrollo, mueren por el efecto de los humos de las estufas de biomasa.

Las Metas de Desarrollo del Milenio de las Naciones Unidas para el 2015, incluyen la reducción a la mitad de la proporción de las personas del mundo que se mantienen viviendo con

menos de \$1 por día. Es muy improbable que ese objetivo se logre, a menos que la electricidad se pudiera suministrar a otros 500 millones de personas que se espera no tendrán acceso a ella. En el escenario de referencia, el número de las personas sin electricidad para 2015 será fraccionariamente más pequeño que en el 2002, y se considera que para el 2030 sólo unos pocos países del Medio Oriente y Latinoamérica habrán alcanzado la fase de desarrollo de energía que los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) habían logrado hace tres décadas.

Al propio tiempo, no se pueden ignorar otros grandes retos que existen en áreas como la productividad económica, la agricultura, la educación, la desigualdad de género, la salud, el agua, la higiene, el medio ambiente, la participación en la economía global y la preservación y auge de la diversidad cultural [4]. Tampoco se podrán ignorar los derivados de problemas socioeconómicos aún mayores como son las elevadas deudas externas, la inestabilidad de los mercados financieros y las sistemáticas crisis financieras con repercusiones regionales y mundiales, la creciente pobreza de las grandes masas, la desindustrialización de regiones enteras de naciones del Sur y demás procesos actuales, como la creciente polarización de la riqueza, los cambios demográficos, la insalubridad, el hambre, el analfabetismo, etc.

Otros efectos adversos amenazadores para el planeta, también han aumentado, como el incremento progresivo de la desertificación, la deforestación tropical masiva, el agotamiento de las reservas pesqueras en los océanos, la aparición de amenazadores cambios climáticos provocados por el hombre, una competencia violenta sobre los limitados recursos de hidrocarburos que provocan guerras y devastación, la pandemia del SIDA y enfermedades de reciente aparición como el SRAS y la gripe aviar (H5N1). Tampoco éstos perciben claramente, muchas de las consecuencias medioambientales escondidas a la percepción superficial de la realidad como que el clima está masiva y rápidamente cambiando. Estamos pegados a bombas de tiempo ecológicas, donde cada ecosistema clave, sea marino o terrestre, está bajo estrés y la economía mundial está agotando la biodiversidad terrestre, la pesca en los océanos, las praderas, los bosques tropicales, la disponibilidad de agua potable y las reservas de gas y petróleo.

Finalmente, se debe tener en cuenta, además de las mencionadas circunstancias socio-políticas y económicas que prevalecen en la actualidad, la realidad evidente, de que junto al aumento del abismo que separa al Norte del Sur, es cada vez mayor la "barrera" digital y del conocimiento entre ambos [5]. Con demasiada frecuencia ello se considera una cuestión limitada a la técnica o la ingeniería que se puede abordar de manera simple y rápida, asignando exiguos recursos o mejorando la infraestructura. Pero de hecho, sólo se pueden resolver los problemas y aprovechar las oportunidades si la cuestión se afronta de manera integral, como un desafío que plantea el desarrollo.

## Energía y nueva geopolítica

El camino del desarrollo de la sociedad humana dependió en gran medida de los recursos energéticos. Hasta el siglo XVIII, antes de la primera revolución industrial, se empleaba además de la fuerza del hombre y el trabajo animal, lo que hoy se conoce como las fuentes de energía renovables: la madera, el poder del viento, la caída del agua. Más energía para una comunidad significó siempre más territorio, por lo que procuraban continuamente lograrlo por cualquier vía. Si bien de manera no siempre explícita, esta idea está detrás de las invasiones y conquistas que la historia ha hecho hasta el presente, como se aprecia de manera impactante en la última guerra de Irak.

Aunque en principio era posible cierto desarrollo industrial con recursos energéticos locales comparativamente pequeños, no fue hasta la revolución industrial, surgida con sus nuevas fuentes de energía: los combustibles fósiles, primero carbón, después el gas natural y en los inicios del siglo XX, el petróleo, lo que lo convirtió en realidad. Desde entonces y hasta el presente, el consumo de energía y la población han aumentado en diversos órdenes de magnitud, al igual que las desigualdades entre las personas y países diferentes, lo que requiere encontrar las vías de un desarrollo sustentable. Políticas sabias, que apunten a esta meta, se deben basar en fundamentos racionales, avaladas por los hechos científicos, técnicos y datos fiables, que sean comprendidas y aceptadas por el público general. Pero los problemas vinculados a la interrelación energía-sociedad no son estáticos, y la opinión pública varía de país en país como es el caso de la energía nuclear, aceptada con beneplácito en Francia y rechazada fuertemente en Alemania.

Antes de continuar adentrándonos en la materia a tratar, por su importancia, es conveniente que se clarifique el significado de la palabra energía, ya que tiene acepciones diversas para los profesionales (físicos, ingenieros, economistas, etc.) y el público en general.

Según el científico francés J.L. Bobin [6], reconocido especialista en temas de energía, los físicos necesitaron aproximadamente dos siglos (entre 1650-1850), para adquirir un cuadro claro y general del término energía y determinar, que es una abstracción asociada con una ley de conservación cuyos principios en la física son hasta el presente inamovibles y convierten a esta ciencia en predicativa, una diferencia mayor con otras ramas científicas como por ejemplo la economía.

Normalmente el concepto de energía abarca varias magnitudes consideradas reales: el calor, el trabajo mecánico, la radiación, la masa (vinculada a la energía a velocidades cercanas a la de la luz, según la famosa fórmula Einsteiniana  $E=mc^2$ ), etc. En el siglo XIX, se creó una ciencia de la energía, denominada termodinámica clásica, cuyo énfasis era la manera de convertir el calor en el trabajo mecánico. En esta especialidad, el principio de la conservación de energía es tan central que es conocido como su primera ley: "La energía no puede crearse ni destruirse, sólo transformarse de una forma a otra". Hoy día, se usa para diseñar y mejorar la eficacia de cualquier dispositivo que cree

el hombre. Durante el siglo XX, la ciencia determinó que sólo cuatro fuerzas (en realidad tres, después de la unificación de la electromagnética con la fuerza débil, responsable de la desintegración “ $\beta$ ”, en la llamada electro-débil) manejan el movimiento de los cuerpos terrestres o celestes, las reacciones nucleares o químicas, los fenómenos electromagnéticos, la vida... y contribuyen a través de las diferentes cadenas de transformaciones, a la generación de potencia utilizable (figura 1).

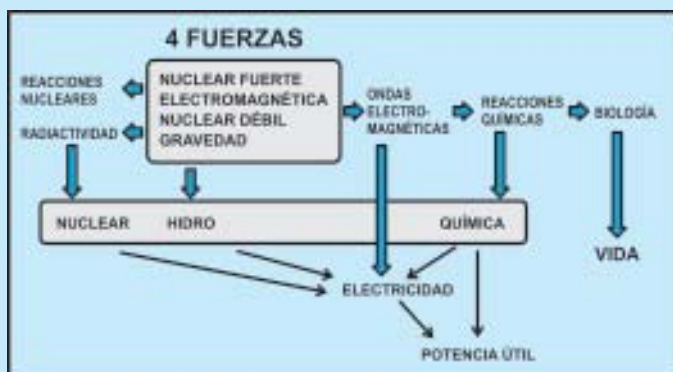


Figura 1. De la física a la potencia útil.

Otro elemento importante desde el enfoque de las leyes físicas, está relacionado con la eficiencia de los procesos que llevan al poder utilizable. La energía útil está asociada con los movimientos bien organizados, como el de la corriente eléctrica con el del electromagnetismo, etc. El trabajo mecánico y las olas coherentes son arquetipos de energía organizada. También la energía está asociada a procesos de disipación como la fricción y el calor, donde impera el desorden: los movimientos moleculares térmicos aleatorios y la radiación incoherente, entre otros. La magnitud abstracta que caracteriza la medida del desorden y limita drásticamente la eficacia de una máquina de calor es la entropía. Su relevancia es tal, que se enuncia como la segunda ley de la Termodinámica: La entropía de los sistemas siempre crece. Según ilustra la figura 1, cuando las transformaciones se inician en el “desorden”, la eficacia es pobre. Al contrario, cuando éstas involucran transformaciones “ordenadas” de energía, el proceso es eficaz.

Así, la energía, se puede definir como, la capacidad de un sistema físico de entregar poder utilizable. Esta capacidad ha sido mentalmente transferida a los recursos energéticos primarios que permiten obtenerlos. Para el economista, estos recursos primarios entran a los procesos de transformación industrial en forma de combustible (químico, nuclear, hidrógeno quemado en las reacciones de fusión termonucleares en el Sol, etc.), o como recursos naturales (agua, viento) y se convierten en poder o potencia utilizable, que es muy real, ya que es el que “el consumidor” obtiene. Consiste en algún material genuino (un combustible, si es madera, carbón, petróleo, gas natural o uranio)

que se “quema” y distribuye mediante los servicios de empresas de energía que cobran la electricidad consumida, escrita en las unidades de energía.

En resumen, la energía abstracta del físico se rige por leyes de la conservación. La energía real para el economista se comporta diferente. La paradoja está clara, inclusive para la persona común: la energía se puede producir, transportar, se puede usar y gastar. Su adquisición, venta, empleo, está dotada de la realidad en el dominio de la economía, donde con independencia de la manera de producirse y transformarse, se comercializa, gasta -a precios cada vez mayores, que fluctúan en el mercado mundial- sin que ley física alguna de la conservación se aplique explícitamente a este proceso.

La vinculación del poder político a la energía se deriva en lo fundamental de lo anterior. Observando el decursar histórico, se encuentra un eslabón evidente entre el advenimiento y diseminación de las nuevas tecnologías y las evoluciones importantes de las formas y calidad de vida de las naciones. La tabla 1 recoge tres invenciones técnicas decisivas que tuvieron un tremendo impacto en las sociedades humanas y que ocurrieron con un intervalo aproximado de 45 a 60 años, conocido como Ciclo de Kondratief. Cada uno de estos ciclos tuvo una conexión especial a la energía. Convirtiendo el calor de un combustible ardiente (madera o carbón), en trabajo mecánico, con una eficacia que fue incrementándose (desde 1% al inicio, hasta un 10% al concluir el 1er ciclo), la máquina de vapor de Watts permitió la primera revolución industrial. Después, con el advenimiento del motor universal del siglo XIX, se revolucionó el transporte terrestre y marítimo y de nuevo el consumo de energía creció considerablemente. La irrupción de la electricidad trajo aparejado además, por lo menos, dos cambios importantes: primero, la energía se podría transportar a grandes distancias con las pérdidas aceptables, y la industria ya no tuvo que confinarse a la vecindad de las minas de carbón, pudiéndose establecer casi en todas partes, especialmente en áreas donde un trabajo calificado estaba disponible; segundo, se inventaron y aparecieron muchos aparatos domésticos que empleaban la electricidad, lo que cambió la vida cotidiana, trayendo como consecuencia que el consumo de energía recibiera un nuevo impulso.

Tabla1. Tres revoluciones técnicas que cambiaron el mundo

Hacia 1770	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Máquina de vapor de Watt</li> <li>• Primera revolución industrial</li> <li>• Los motores sustituyen el trabajo humano y animal</li> </ul>
Hacia 1880	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencia eléctrica</li> <li>• Transporte de energía limpia y eficiente a través de largas distancias</li> <li>• aplicaciones domésticas</li> </ul>
Hacia 1990	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Microelectrónica</li> <li>• Tecnologías de computación e informática</li> </ul>



En la actualidad estamos inmersos en una revolución industrial de tercer tipo, cuyo impacto en la sociedad todavía está ocurriendo. Las TIC's, son emblemáticas de este proceso y tuvieron un despliegue boyante en las postrimerías del siglo XX. Su relación con la energía es bastante diferente. De hecho, ellas requieren comparativamente una pequeña potencia para su funcionamiento. Las necesidades energéticas de la red de información existente, suman menos de 1% del total mundial, lo que resulta insignificante.

Según se muestra en la figura 2, dos rasgos están impactando el panorama energético actual: primero, cerca del 87% de la energía primaria total actual proviene de combustibles fósiles como el carbón (21%), el gas natural (33%) y el petróleo (33%), correspondiéndole a cada una, la hidráulica y nuclear un 6% y alrededor de un 1% a las renovables. Es conveniente notar, además, que sólo el 35% de esa energía se emplea, el resto, las 2/3 partes se convierten en desechos y otras pérdidas; segundo los principales usuarios finales son: el sector industrial (30%), el sector residencial y terciario (25%), el transporte (30%), y correspondiendo a pérdidas el 15%. El consumo de energía de la agricultura a nivel global es muy pequeño comparado con el de la industria, el transporte, el sector doméstico y el comercio (en los países desarrollados, sólo un porcentaje reducido de la mano de obra disponible trabaja en una agricultura muy mecanizada).

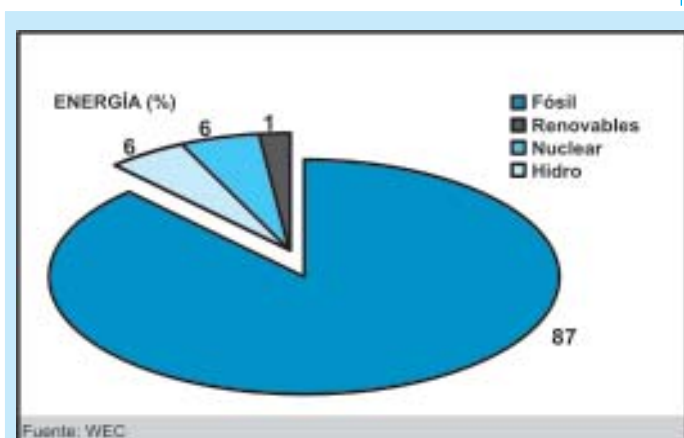


Figura 2. Participación de las fuentes de energía primaria en el balance global.

Hemos visto, que desde la primera revolución industrial hasta el presente, la población y el consumo de energía han aumentando considerablemente, al igual que las desigualdades entre los diferentes países y sus habitantes. Una diferencia esencial en el desarrollo humano y de las naciones estriba en su acceso a la energía.

¿Qué entidades humanas son ricas y poderosas hoy día? Los países industrializados, esencialmente los miembros de la OCDE, algunas naciones miembros de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) y las nuevas economías emergidas de Asia. Tal situación no puede continuar indefinidamente. El "poder del petróleo" es onisciente y

omnipotente en el mundo. En el ámbito de los negocios, las compañías de petróleo y gas están entre aquellas que tienen los ingresos más grandes. Ellas son notoriamente rentables. Obviamente, aquellos que poseen y controlan los suministros de energía, tienen realmente en sus manos el destino de la sociedad humana.

## Necesidades energéticas vs. desarrollo sostenible

Nada mejor para ilustrar la desgarradora realidad actual, que los datos aportados por entidades internacionales como el Informe de desarrollo humano de la ONU [7] y el del Banco Mundial [8]. Estos datos muestran –aún sin considerar los enormes gastos militares anuales [9]– que la quinta parte de la población mundial que vive en los países de más altos ingresos integrantes de la OCDE tiene el 86% del PIB mundial, el 82% de los mercados de exportación, el 68% de la inversión extranjera directa, el 91% de los usuarios de Internet y controla el 71% del comercio mundial. También muestran que un tercio de la población mundial de 6,3 mil millones de habitantes –población que se ha cuadruplicado en los últimos cien años– no tiene acceso a las redes centralizadas de distribución de energía, mientras que menos del 20% de la población mundial consume el 80% de la producción energética. Se ha progresado poco para afrontar esas necesidades.

Existen, además, otros urgentes problemas que se deben examinar. Por ejemplo, según el Internacional Water Management Institute, la futura escasez de agua de riego podría causar, para mediados de siglo, una disminución del 25% en la producción de cereales de la India, la que tendrá cerca de 1500 millones de habitantes en esa época. Se pronostica además que para esa fecha, una cuarta parte de la población mundial vivirá en países –fundamentalmente en África, el Oriente Medio, el Norte de China y Asia Meridional– que padecen escasez crónica o insuficiencia de agua dulce (menos de 1700 m<sup>3</sup> de agua per cápita/año). En resumen, a partir de 1950 la superficie mundial para la producción de cereales por persona se ha reducido tremendamente. Existen relativamente pocas tierras por cultivar, debido en lo fundamental a la expansión industrial y a la construcción de viviendas.

Según pronósticos de las Naciones Unidas (figura 3), en el año 2050 serán 8-9 mil millones los habitantes en el planeta y en el 2100 oscilará entre 11 y 12 mil millones. Es lógico que muchos se pregunten entonces: ¿Hay límites medioambientales para el número de personas y la calidad de la vida que pueda sostener el planeta?

En una economía globalizada, la eficiencia del suministro energético es indispensable para sustentar una actividad económica sólida. Desafortunadamente, la globalización neoliberal imperante no representa una solución para los problemas mencionados, sino que por el contrario, agrava las asimetrías entre quienes tienen acceso a sus ventajas y quienes quedan al margen.

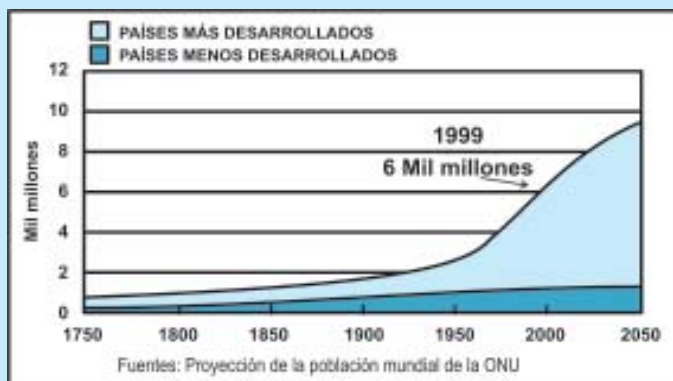


Figura 3. Crecimiento de la población entre 1750-2050.

Este tema conduce a detenernos en determinados elementos sobre las necesidades energéticas futuras. Estudios recientes [10] consideran tres escenarios globales de crecimiento económico, los cuales deberán estar en correspondencia con el crecimiento de la demanda de energía para el presente siglo. Se aprecia en la figura 4 que para mediados de siglo, en cualquier escenario la demanda mundial de energía se multiplicará por dos. Sin embargo, se estima que las principales fuentes de producción de electricidad (a saber, los combustibles fósiles, como por ejemplo, el carbón, el petróleo o el gas natural) deberán disminuir su contribución para cumplir con las exigencias del Protocolo de Kyoto: una reducción del 12% para el año 2010 y los nuevos acuerdos que se asuman posteriormente. Según algunos destacados especialistas del sector, para alcanzar lo anterior, si se considera que el 50% de la reducción se pudiera lograr mediante el aumento de la eficiencia energética, el otro 50% inexorablemente se tendría que obtener mediante el empleo de otros combustibles, distintos de los fósiles.

Para afrontar el esperado aumento, aún en el escenario bajo de referencia, el Consejo Mundial de Energía WEC (17th. WEC Congress Technical Papers and Survey of Energy Resources, 1998) [11], consideró que se requerirá:

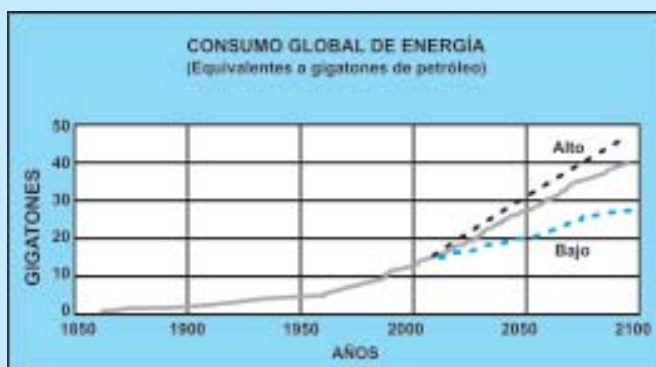


Figura 4. Uso global de la energía en gigatonelada de petróleo equivalente.

- Una mayor capacidad generadora que se debe añadir en los primeros tres años de la presente centuria y que a su vez, debe ser mayor que toda la que se ha construido en el último siglo.

- 25 millones de barriles de petróleo adicionales cada día, con los que se alcanzaría un consumo diario de petróleo de 90 millones de barriles o 15 millones de toneladas.

- El potencial para quemar los 3500 millones de toneladas de carbón cada año, que traería un consumo anual de 7000 millones de toneladas.

- Una producción anual de gas de 2500 millones de metros cúbicos, equivalente a toda la reserva de gas de los Estados Unidos.

Detengámonos brevemente en el escenario medio denominado B, de la figura 4, para analizar algunas de sus implicaciones.

Según la proyección del International Institut for Applied Systems Analysis (IIASA) y el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), la demanda de energía aumentará vertiginosamente por regiones y grupos de países (figura 5). Estimados conservadores indican que para el año 2050, el consumo total de energía -aún en el escenario B seleccionado- será equivalente al doble de la actual (asciende a 10 000 millones de toneladas de petróleo equivalente anuales; el precio hoy día supera los 60 USD el barril), correspondiendo el mayor crecimiento a los países del Sur.

Los cambios climáticos inducidos por este tipo de energía fósil, se aprecian de manera elocuente en la figura 6, que muestra la estrecha vinculación existente entre los cambios de la temperatura de la superficie en el hemisferio Norte y el aumento

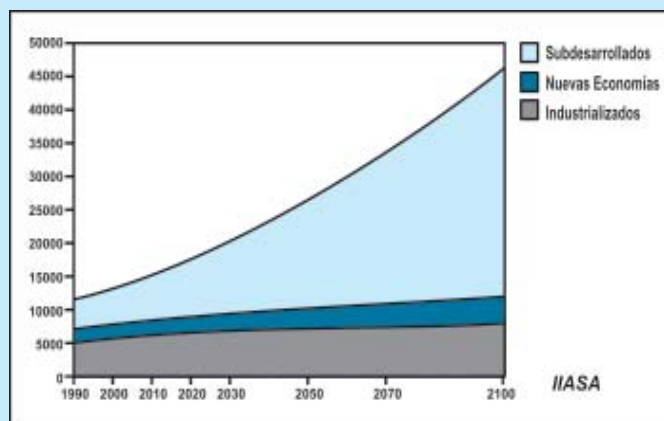


Figura 5. Implicaciones para tres regiones o grupos de países, en el escenario B de consumo de energía.

de la concentración de CO<sub>2</sub> y de sus emisiones a la atmósfera en los últimos 1000 años. Destacan sobre todo, los ocurridos alrededor del 1800 vinculados a la revolución industrial. En la parte izquierda de la figura se observa, que en esa era, los niveles de CO<sub>2</sub> eran alrededor de 180 ppm (ppmv: unidad de medida de concentración correspondiente a una parte por millón en volumen). Entre la revolución agrícola y la revolución industrial, los niveles ascendieron a 280 ppm.

Hoy día, las industrias de carbón, petróleo y gas natural obtienen y consumen mundialmente alrededor de 7000 millones de toneladas, que al quemarse liberan enormes cantidades de CO<sub>2</sub>

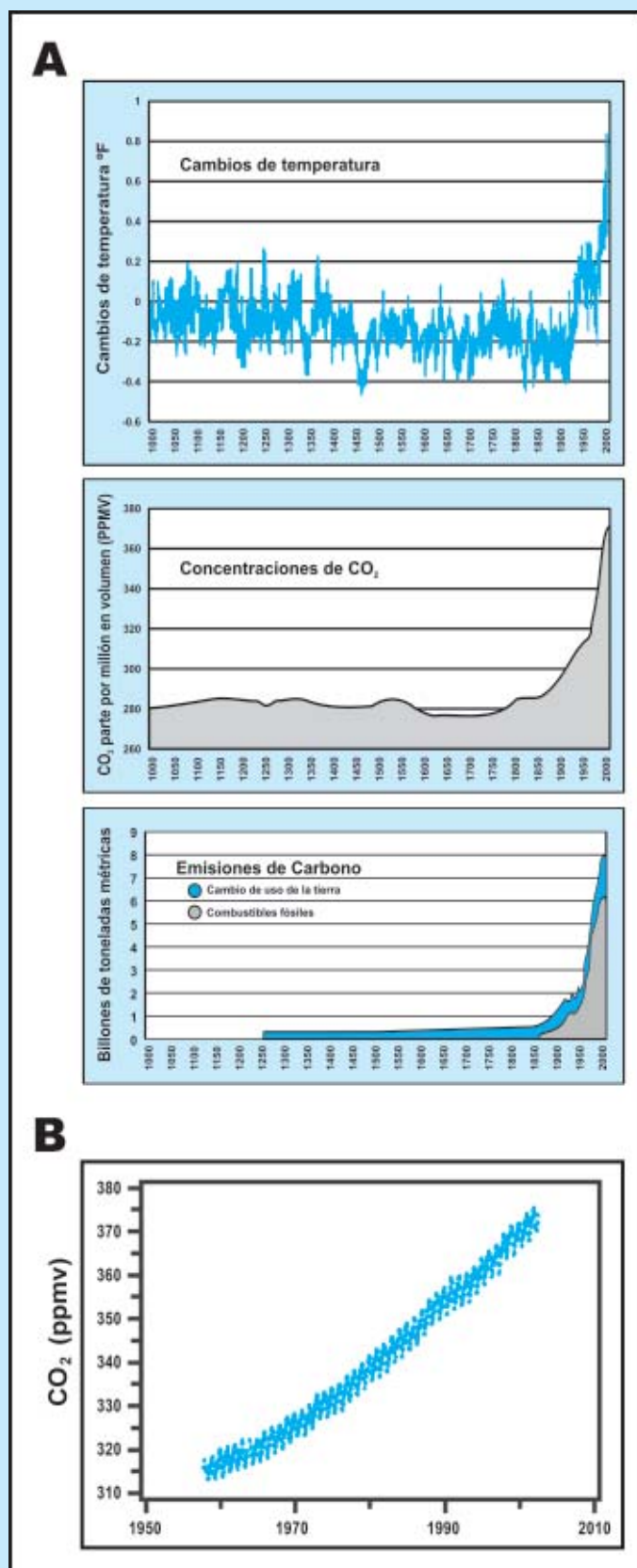


Figura 6.  
A: 1000 años del cambio global del CO<sub>2</sub> y la temperatura.  
B: Crecimiento de la concentración del CO<sub>2</sub> desde 1950 al 2005.

y los niveles ya están en el orden de 380 ppm. De continuar esa tendencia de consumo, para el 2056 podría alcanzar los 14 000 millones de toneladas equivalente, lo que sin duda elevaría la concentración a niveles insostenibles, entre 450–560 ppm, demasiado caliente.

Muchos consideran [12], que en estas circunstancias el debate acerca del calentamiento global, es ya un tema concluido. Los niveles presentes de CO<sub>2</sub>, -cerca de los 400 ppm- son los más altos que la atmósfera terrestre ha tenido en los últimos 650 000 años y casi todos los años más calientes han ocurrido después de los 80.

Nadie puede con seguridad afirmar o negar que aparezcan nuevas tecnologías “milagrosas”, que resuelvan simultáneamente los problemas energéticos y medioambientales, o que ocurra un descubrimiento sensacional que sitúe las celdas fotovoltaicas en una nueva era solar. Pero si ello no ocurre y es muy probable que así sea, serán necesarias muchas tecnologías en desarrollo (biocombustibles, solar, hidrógeno, nuclear de nueva generación), unido a combustibles fósiles “descarbonizados” para, mediante una voluntad y política agresiva a nivel nacional e internacional, lograr que la atmósfera se mantenga por debajo de los 500 ppm, sin comprometer el desarrollo que muchas naciones requerirán en el presente siglo. De ello no alcanzarse, ocurrirán cambios catastróficos, ya parcialmente vistos, en forma de fuertes huracanes, inundaciones, pérdidas de territorios costeros, veranos cada vez más calientes, deshielo en los polos, etc.

Finalmente, existen otros contaminantes producidos en cantidades importantes por los combustibles fósiles, como los óxidos de nitrógeno y de azufre (tabla 2), cuya transformación en compuestos ácidos en la atmósfera y su posterior deposición mediante la lluvia o en seco, está provocando el fenómeno de la lluvia ácida, que tiene efectos devastadores para los bosques, lagos y edificios y gran impacto en el medio ambiente.

Tabla 2. Principales emisiones contaminantes por áreas geográficas

ZONA	CO <sub>2</sub> (gigatón/año)	Carbon (gigatón/año)	Azufre (megatón/año)	Nitrógeno (megatón/año)
Norteamérica	5,68	1,55	12,1	5,5
Suramérica	0,95	0,26	3,2	1,4
Europa Occidental	3,67	1	10,4	3,7
Europa Central	0,92	0,25	3,9	1,0
FSU*	3,96	1,08	12,4	4,0
Oriente Medio	0,81	0,22	2,2	1,0
África	0,40	0,11	1,8	0,7
Sur de Asia	0,73	0,2	3,4	1,1
Pacífico	4,68	1,27	15,1	5,7
TOTAL	21,78	5,94	64,6	24,1

\*Antigua URSS



## Sostenibilidad energética: desafíos y oportunidades

En el contexto del desarrollo sostenible se deben escoger vías y aplicar medidas que no reduzcan el capital ambiental o social actual a niveles inaceptables, ni comprometan el de las futuras generaciones.

Para superar el sombrío panorama energético que se avecina, la cuestión no será sólo cómo conseguir las reducciones deseadas de los niveles de emisión de CO<sub>2</sub> antes mencionados, sino cómo afrontar la crisis energética que se producirá inexorablemente en los próximos decenios, en correspondencia con los pronósticos, de la contribución futura de las diferentes fuentes de energía (figura 7). Para materializar éstos pronósticos, se deberán realizar grandes inversiones y enfrentar retos ineludibles, que han sido planteados en diversos foros y congresos mundiales [13].

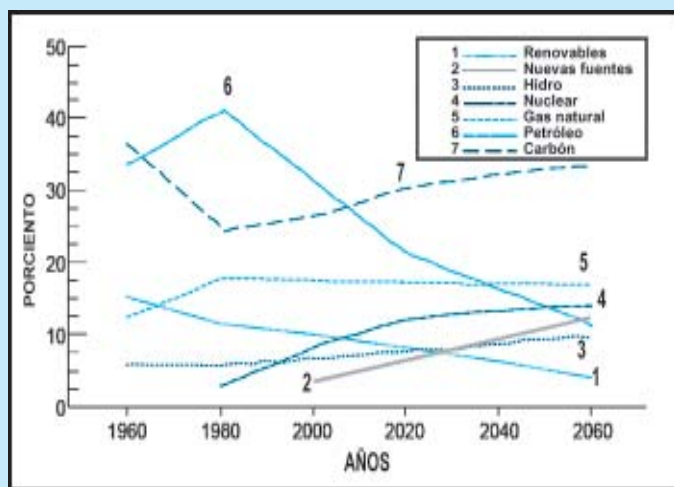


Figura 7. Contribución futura de las diferentes fuentes energéticas al consumo global mundial.

Hay que tener presente ante todo, que los recursos energéticos convencionales no son inagotables, así la sostenibilidad debe comenzar por un uso eficiente de los recursos y una explotación óptima de las reservas actuales de energía, con una mínima irrupción en el ambiente mediante iniciativas eficaces para reciclar y minimizar los residuos.

Estudios recientes indican [14] que a los niveles actuales de consumo existen reservas de carbón probadas suficientes para más de 200 años, de gas natural para 60 años y de petróleo para 40 años. En aras de la brevedad, no nos detendremos en el papel de la tecnología en las diversas fuentes convencionales de energía. Pero es un hecho que, en dependencia de economías específicas y nuevas tecnologías, se pueden aumentar los recursos de petróleo y gas natural, mediante técnicas de recuperación mejoradas que se estima serán capaces de, al menos, duplicar el recurso base, y se pudieran desarrollar incrementos futuros de la extracción y el empleo de combustibles fósiles como estímulo a la sustitución de los combustibles

fósiles convencionales por combustibles libres de carbono. Sin embargo, el financiamiento de las inversiones necesarias y la volubilidad de los precios se pudieran convertir en obstáculos formidables para alcanzar tal objetivo.

Existen otras vías -en el panorama energético mundial- para mitigar el problema de los gases de efecto invernadero (GEIs) y afrontar el agotamiento paulatino de las fuentes convencionales [15]. Por razones ambientales, aunque desde puntos de partida diferentes, las que tienen mayores perspectivas son: las energías renovables y la energía nuclear. Persiste, sin embargo, la tendencia a una simplificación excesiva que lleva a considerar las fuentes de energía renovables siempre “inocuas” y a la energía nuclear, junto con los combustibles fósiles, siempre “nocivos”. En la esfera de la energía, esto no es totalmente cierto y se puede demostrar con datos y experiencia.

En la actualidad, sólo dos energías no convencionales producen, en cantidad suficiente, energía libre de los GEI para la producción de electricidad: la hidráulica y la nuclear, que producen alrededor del 16% cada una de la electricidad global. El resto de las fuentes no convencionales juntas suministran sólo el 2% aproximadamente (figura 8). En los decenios venideros, casi todas las fuentes de energía renovable y la fusión termonuclear -que a menudo son objeto de ilusiones- aún presentarán obstáculos técnicos y económicos considerables que les impedirán hacer un aporte significativo al balance energético mundial.

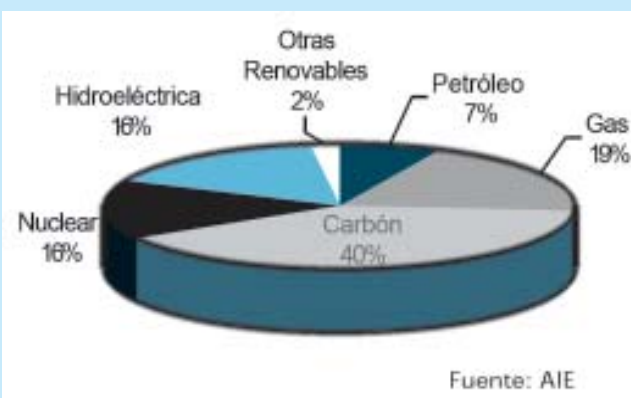


Figura 8. Fuentes de energía mundial para generación eléctrica.

A manera de consideraciones finales del acápite, notar algunos elementos sobre la sostenibilidad energética según las conclusiones del último congreso de la WEC celebrado en Sydney, Australia, en septiembre de 2004 [16]. La principal conclusión es que, si se pretende lograr tal sostenibilidad en este siglo, hay muchos desafíos y es necesario enfrentarlos con urgencia. He aquí algunas de estas reflexiones:

- 1) Los recientes aumentos en los precios de la energía, aunque fomentarán la tan necesaria eficiencia energética y estimularán la inversión, plantearán serias dificultades para extender el acceso a los servicios energéticos modernos al tercio de la población mundial que aún carece de ellos o cuyo acceso es

inadecuado para el desarrollo económico. Un sistema energético que contiene dichas injusticias no es ni sostenible ni aceptable.

- 2) Las interrupciones en el suministro -experimentadas en forma recurrente por muchos países en desarrollo y por América del Norte y Europa en los apagones de 2003- imponen una pesada carga económica, resaltando la importancia de garantizar la seguridad de suministro en un sistema energético mundial cada vez más interdependiente.
- 3) Se deben mantener abiertas todas las opciones energéticas (sean grandes o pequeñas) y no se debe privilegiar ni demonizar ninguna tecnología. Estas incluyen las opciones convencionales de carbón, petróleo, gas, nuclear e hidroeléctrica, y las nuevas fuentes de energía renovable, combinadas por supuesto con una mayor eficiencia energética. Al respecto, se debe asignar a la energía una mayor proporción de la inversión mundial en infraestructura. Para esto es esencial contar con precios que reflejen los costos. Los sistemas energéticos que no se pagan a sí mismos en el mediano o largo plazo no son sostenibles.
- 4) La integración regional de los sistemas de suministro de energía puede estimular la seguridad del acceso y del suministro de energía. Es necesario aumentar la colaboración regional a fin de armonizar el desarrollo de la regulación energética y crear la infraestructura necesaria. También es la clave para optimizar el nexo entre agua y energía.
- 5) El cambio climático es una seria preocupación mundial, que requiere cambios en el comportamiento de los consumidores, pero que ofrece grandes oportunidades potenciales. Estos incluyen una mayor transferencia de tecnologías eficientes, desde los países industrializados hacia los países en desarrollo e incentivos a la inversión mediante el surgimiento voluntario o regulado de comercialización de emisiones u otros mecanismos.
- 6) La innovación y el desarrollo tecnológicos son esenciales para conciliar los servicios energéticos ampliados para un desarrollo económico más equitativo con la protección del medio ambiente. Vinculado a ello, las mejoras a la oferta energética y a las tecnologías de uso actual son tan importantes para una mayor eficiencia y menores costos e impactos ambientales, como las nuevas opciones "de avanzada". Otra prioridad es el sector de transporte, donde la investigación y el desarrollo son la clave para reducir el consumo y disminuir emisiones nocivas.

Finalmente, se debe lograr y mantener la confianza pública, lo que depende de la transparencia del sector energético. Para lograr aceptación y evitar presiones políticas -que corren el riesgo de desviar a los gobiernos de las políticas esenciales-, será necesario que haya una gran comprensión por parte del amplio público acerca de los asuntos involucrados.

## Perspectivas nucleares

En lo que respecta a la energía nuclear, existe una sólida base de experiencia y desarrollo. Su utilización está asociada a importantes ventajas ambientales [17], como su contribución significativa para reducir en 8% las emisiones de dióxido de carbono a nivel global, reducción del mismo orden que la de la energía hidráulica, y además no emite contaminantes como los óxidos de nitrógeno y de azufre. La cadena completa del uranio (ciclo de combustible) desde la mina a la central funcionando emite sólo 2-6 gramos de carbón por kilovatio-hora. Esto es casi como el viento y la energía solar y de uno a dos órdenes de magnitud menor que el carbón, el petróleo e inclusive el gas natural. Para tener una mejor idea del tema baste señalar que, si todas las plantas atómicas se cerraran y sustituyeran por una mezcla de las fuentes existentes, el resultado sería un aumento de 600 millones de toneladas de carbón por año, o aproximadamente dos veces la cantidad total evitada por el Protocolo de Kyoto.

Cabe preguntarse, de cara al futuro, ¿dónde están los retos de la energía nuclear y qué se debe hacer para asegurar que su contribución para enfrentar la demanda de energía limpia sea plena y justamente considerada?

Entre los factores que influyen en las perspectivas de la energía nuclear están su explotación segura y económica, que incluye la gestión y la disposición final eficaz de los desechos radiactivos. Pero son los relacionados con el medio ambiente, la economía y la seguridad los que determinarán a la larga el papel de la energía nuclear en un futuro energético sostenible.

Como la comprensión es clave para la aceptación por parte del público, también están presentes la necesidad de recuperar la confianza de este público en la seguridad y desempeño de la energética nuclear, garantizar el uso exclusivamente pacífico de la energía nuclear y la demostración de su competitividad económica en comparación con otras opciones. No se debe obviar tampoco que la ciencia nuclear, base de la energía nuclear, es común a todas las demás aplicaciones nucleares con fines pacíficos (medicina, agricultura, industria, etc.), lo que determina que sus aplicaciones traigan un buen número de beneficios para la sociedad.

¿Qué papel desempeñará la energía nuclear en la solución de la creciente demanda de energía? Sigue siendo confuso, pero se puede indicar determinada tendencia, basada en los datos [18].

Las proyecciones lanzadas en 2004 por el OIEA y la Agencia Internacional de Energía (AIE), predicen 427 gigawatts de capacidad instalada para el año 2020, equivalente a 127 nuevas centrales de bloques energéticos de 1000 MWe cada una. Las nuevas expectativas, a más largo plazo, también han sido consolidadas por la entrada en vigor del Protocolo de Kyoto.

Los casos de nuevas construcciones en Europa -Oltimoto 3 en Finlandia, Flamanville en Francia- y las extensiones de licencias por 20 años más en los EE.UU. a tres cuartos de los 104 reactores actualmente en funcionamiento, muestran que la energía nuclear



está recuperando su estatus como opción seria. Aunque el foco del esfuerzo internacional después de Chernobyl ha sido mejorar la seguridad, apareció una ventaja secundaria. En realidad mucho del excedente de capacidad de generación nuclear se ha debido no a nuevas construcciones, sino a la disponibilidad y productividad de las plantas existentes. Si en 1990 las centrales nucleares como promedio generaban electricidad el 71% del tiempo, en el 2003 esa magnitud era del 81%. Ello constituye una mejora equivalente al incorporar 25 nuevas centrales de bloques de 1000 MWe cada uno, todo ello a un costo relativamente mínimo.

A modo de resumen, cabe destacar que el desarrollo energético es un proceso de varias etapas. En el presente siglo, durante muchos decenios hasta aproximadamente el 2050 los combustibles fósiles continuarán siendo la mayor fuente de energía, y el gas natural será la fuente de energía basada en el carbono más limpia desde el punto de vista de los gases de efecto invernadero. A finales de esta etapa, se combinarán los combustibles fósiles, la energía nuclear y las fuentes renovables, y estas dos últimas aumentarán paulatinamente su parte en el mercado.

A mediados del siglo XXI, la electricidad y el hidrógeno primarán en la carrera energética, especialmente para los hogares y el transporte. El petróleo y el gas mantendrán un papel importante en el transporte hasta que se determine la viabilidad del hidrógeno. Los nuevos requerimientos económicos, sociales y ambientales demandarán la utilización adicional de otros recursos energéticos cuyo uso no es común hoy en día, así como nuevos métodos de utilización y transporte de la energía.

Por último, más allá del año 2050 y hasta el año 2100, se producirán grandes adelantos, principalmente en la energía solar y en la fusión termonuclear -cuando el proyecto internacional ITER haya arrojado resultados positivos- lo cual posibilitará la explotación de sistemas energéticos económica y ambientalmente sustentables en el ámbito global.

En suma, la producción y utilización de la energía mediante vías de desarrollo sostenibles continúan siendo un reto apremiante, especialmente para las regiones en desarrollo donde más rápidamente aumentan las poblaciones y sus necesidades de energía. Es preciso que todos los países aumenten sus esfuerzos urgentemente para apoyar las medidas y acciones que permitirán tener energía limpia, fiable y barata a más de la mitad del mundo, ahora que ya avanza el siglo XXI.

## Agradecimientos

Hace 20 años, cuando apareció el primer volumen de la revista *Nucleus*, refiriéndome al papel que le correspondería desempeñar a esta publicación en el desarrollo del Programa Nuclear Cubano, escribí en el Editorial en representación de su Consejo lo siguiente:

*“La información en el mundo actual es una de las fuerzas motrices de la actividad humana”... “Como parte del necesario esfuerzo informativo, que condujo a la creación del Centro de Información de la Energía Nuclear (CIEN), la Comisión de Energía Atómica de Cuba ha decidido iniciar la publicación de la revista Nucleus, que toma su nombre de la voz latina que sirve para designar la más maravillosa de las fuentes energéticas reveladas por el talento humano: el núcleo atómico”... “La revista está dirigida a los técnicos, investigadores y científicos de Cuba y de otros países relacionados con esta esfera y tendrá dentro de su perfil temático a la energética nuclear, las diversas técnicas nucleares aplicadas a la economía y ramas de la ciencia y la tecnología a ella asociada, así como a la seguridad nuclear y protección radiológica, imprescindibles para su desarrollo”... “Está destinada fundamentalmente a divulgar los aspectos principales del programa de desarrollo nuclear con fines pacíficos de Cuba y a reflejar los logros más significativos de la ciencia y la tecnología nuclear en el mundo”.*

Y concluía... *“Nuestro país está convencido de que, en la difícil situación que vive hoy la humanidad, especialmente los países del tercer mundo, agobiados por los problemas económicos y sociales, la información oportuna y útil está llamada a ocupar un lugar relevante. A contribuir a esos empeños está dedicada la revista Nucleus”.*

Transcurridas dos décadas, es para mi un privilegio, una satisfacción y -seguramente para muchos de los compañeros vinculados a la actividad desde sus inicios y en diferentes momentos-, constatar, que las ideas y propósitos que inspiraron aquella acción se han visto realizados y arribamos con satisfacción al volumen 40, no como una meta, sino punto de partida de una nueva etapa.

Deseo felicitar a los trabajadores de CUBAENERGÍA, al Equipo Editorial de *Nucleus* por este aniversario y agradecerles la invitación a escribir este artículo. Al Dr. Juan Antonio Rubio, Director General del CIEMAT, por facilitarme el manuscrito de su trabajo del presente volumen y a la Ing. Mirtha Príncipe de la Oficina de Asesoría Científica del Consejo de Estado por el apoyo brindado en la compilación final del mismo. ♦

## Referencias bibliográficas

- [1] CASTRO DÍAZ-BALART, F., Energía Nuclear: ¿Peligro ambiental o solución para el siglo XXI?, Editorial Grijalbo, grupo editorial Random House – Mondadori, Barcelona, España, 1999.
- [2] CASTRO DÍAZ-BALART, F., Revista trimestral, Boletín de la OIEA, Vol. 44, No. 1, abril/02, Viena, Austria, 2002.
- [3] RUBIO, J.A., En la frontera de la investigación en Energía, Revista Nucleus. Vol. 40, 2006.
- [4] World Energy Outlook, WEO (2005), Fact sheet: Energy and Development, Editorial OECD/IEA, 2006.
- [5] CASTRO DÍAZ-BALART, F. y otros, Ciencia, Tecnología e Innovación: desafíos e incertidumbres para el Sur, Ediciones Plaza, La Habana, Cuba (2006)4-8.
- [6] BOBIN, J.L, NIFIENECKER, STEPHAN, C., L 'energie dans le monde: bilan et perpectives, editorial EDP Sciences, Paris, France , 2001.
- [7] Human Development report, A human face for globalization, UN, N. York, 1999.
- [8] World development report, World Bank, Oxford, 2000.
- [9] GOODWIN, I., A 5,8 billion dollars victory, Mundo Científico, España, No.198 (1999)27–30.
- [10] PRIDDLE, R., Revista trimestral, Boletín de la OIEA, Vol. 41, No. 1, Viena Austria, 1999.
- [11] 17<sup>th</sup>. WEC Congress, Technical Papers and Survey of Energy Resources, Houston, USA, 1999.
- [12] GARY, S., Scientific America, Vol. 295, Number 3, September (2006)46-49.
- [13] <http://www.worldenergy.org>
- [14] IAEA, Scientific Conference on Sustainable Development. The rol of Nuclear Energy, September, 1999.
- [15] STRUPCZEWSKI, A., Comparatives Energetic Systems Emissions Evaluations, IAEA Bulletin, Vol. 41, No. 1, Austria, (1999)19–24.
- [16] XIX WEC Congress Technical Papers and Survey of Energy Resources, Sydney Australia, 2004.
- [17] CASTRO DÍAZ-BALART, F., Ciencia, Tecnología y Sociedad: Hacia un desarrollo sostenible en la Era de la Globalización. Editorial Científico-Técnica, La Habana, 2004.
- [18] ELBARADEI, MOHAMED, Energía Atómica: Preparación para el futuro. Conferencia Internacional sobre la energía atómica para el Siglo XXI, marzo, París, Francia, 2005.