



 Economía

La producción de energía y su utilización

Rogelio Pontón

Un año atrás habíamos publicado el siguiente artículo dedicado a la producción de energía a nivel mundial. Le hemos introducido pequeñas correcciones, agregado algunos datos y modificado algunas de las estadísticas.

El crecimiento económico de las naciones depende de la producción de energía. Desde el inicio de la era industrial, a comienzos del siglo XIX, la dependencia de los distintos tipos de energía fue fundamental para el desarrollo de fábricas e industrias. Lenin, el dirigente de la revolución soviética manifestaba en su tiempo que:

Desarrollo = Energía + Planificación

Aunque diferimos de él en cuanto al término planificación, no podemos estar en desacuerdo con respecto al tema energía.

En este artículo vamos a analizar en primer lugar las reservas y producción de energía primaria, de energía secundaria y luego de algunos desarrollos recientes en esta materia.

Según datos de 'BP Statistical Review of World Energy' (junio de 2012) publicado por British Petroleum las reservas, producción y consumo de los distintos tipos de energía primaria han sido las siguientes:

Las reservas probadas mundiales de petróleo a fines del año 2011 llegaban 1.652,6 miles de millones de barriles. Por países estas eran las cifras, en miles de millones de barriles:

Venezuela	296,5
Arabia Saudita	265,4
Canadá	175,2
Irán	151,2
Irak	143,1
Kuwait	101,5
Emiratos Árabes	97,8
Federación Rusa	88,2
Libia	47,1

Pág 1





La producción de energía y su utilización - 12 de Abril de 2013

Nigeria	37,2
Estados Unidos	30,9
Kazakhstan	30,0
Qatar	24,7
Brasil	15,1
China	14,7
Angola	13,5

Los países mencionados participan con el 92,8% de las reservas mundiales.

La producción mundial de petróleo ascendía a fines del año 2011 a 83,576 miles de barriles por día. Veamos quienes son los principales países productores en miles de barriles por día:

Arabia Saudita	11.161
Federación Rusa	10.280
Estados Unidos	7.841
Irán	4.321
China	4.090
Canadá	3.522
Emiratos Árabes	3.322
México	2.938
Kuwait	2.865
Irak	2.798
Venezuela	2.720
Nigeria	2.457
Brasil	2.193
Noruega	2.039
Kazakhstan	1.841





La producción de energía y su utilización - 12 de Abril de 2013

Angola	1.746
Algeria	1.729
Qatar	1.723

Y cantidades menores para otros países. La producción de Argentina fue de 652 (en miles de barriles por día). La producción anual de Argentina estuvo en alrededor de 35 millones de metros cúbicos. Hay que tener en cuenta que las reservas de nuestro país pueden llegar a 400 millones de metros cúbicos es decir poco más de 11 años.

Las reservas comprobadas de petróleo, al nivel de producción actual de 83,576 miles de barriles por día, alcanzarían para la siguiente cantidad de años:

$$83,576.000 \text{ barriles/día} \times 365 \text{ días} = 30,505 \text{ millones de barriles/año}$$

Si dividimos 1.652.600 millones de barriles de reservas por 30,505 millones = 54,2 años.

Hay que tener en cuenta que en el futuro la población va a seguir creciendo aunque a una tasa inferior a la actual que se va acercando a 1,1% y en pocos años va a estar por debajo del 1%. Se proyecta que la población mundial va a estar en alrededor de 9.000 millones de personas alrededor del 2050. Además del crecimiento poblacional, se va a incrementar el consumo especialmente de automotores, lo que va a determinar un consumo diario de petróleo mayor. De no haber descubrimientos de nuevos yacimientos o la utilización de otras fuentes energéticas, los 54,2 años que mencionamos más arriba se van a reducir aproximadamente a cerca de la mitad.

Las reservas mundiales de gas probadas llegaban a fines del año 2011 a 208,4 en billones de metros cúbicos y se distribuían de la siguiente manera entre los distintos países:

Federación Rusa	44,6
Irán	33,1
Qatar	25,0
Turkmenistan	24,3
Estados Unidos	8,5
Arabia Saudita	8,2
Emiratos Árabes	6,1
Venezuela	5,5
Nigeria	5,1
Algeria	4,5





La producción de energía y su utilización - 12 de Abril de 2013

Australia	3,8
Irak	3,6
China	3,1
Indonesia	3,0

Los países mencionados participan con el 85,6% del total mundial.

Hay que tener en cuenta los descubrimientos que se han producido en los últimos años de gas no convencional, especialmente en China, EE.UU., Argentina y otros países. EE.UU. ya ha comenzado su explotación y en unos 6 a 7 años comenzaría su exportación. En este país, en el año 2000, el shale gas proporcionaba el 1% de la producción de gas natural. En el 2010 ya estaba en el 20% y se predice que en el 2035 el 46% provendría de gas no convencional. Esto se puede ver en una gráfica publicada por la U.S. Energy Information Administration.

La producción mundial de gas natural en el 2011 ascendió a 3,276,2 miles de millones de metros cúbicos. Los principales países productores son los siguientes (en miles de millones de metros cúbicos):

Estados Unidos	651,3
Federación Rusa	607,0
Canadá	160,5
Irán	151,8
Qatar	146,8
China	102,5
Noruega	101,4
Arabia Saudita	99,2
Indonesia	75,6
Malasia	61,8
Turkmenistan	59,5
Uzbekistan	57,0
México	52,5
Emiratos Árabes	51,7





La producción de energía y su utilización - 12 de Abril de 2013

India	46,1
Australia	45,0

Los países mencionados participan con el 75,4% de la producción mundial de gas natural.

Las reservas probadas de gas natural convencional de 208,4 billones de metros cúbicos, teniendo en cuenta una producción anual de 3,276,2 miles de millones, alcanzarían para 63,6 años.

Las reservas mundiales de carbón probadas ascendían a fines del año pasado a 860,938 millones de toneladas. Por países esta es la distribución (en millones de toneladas):

Estados Unidos	237.295
Federación Rusa	157.010
China	114.500
Australia	76.400
India	60.600
Alemania	40.699
Ucrania	33.873
Kazakhstan	33.600

Los países mencionados participan con el 87,6% de las reservas mundiales.

La producción mundial de carbón llegó el año 2011 a 3,955,5 millones de toneladas equivalentes de petróleo. Los principales países productores han sido (en millones de toneladas equivalentes de petróleo):

China:	1.956,0
Estados Unidos	556,8
Australia	230,8
India	222,4
Indonesia	199,8
Federación Rusa	157,3
Sudáfrica	143,8





La producción de energía y su utilización - 12 de Abril de 2013

Kazakhstan	58,8
Polonia	56,6
Colombia	55,8
Ucrania	45,1

Los mencionados países tuvieron una participación del 93,2% en la producción mundial del año pasado.

El consumo de carbón de China, con el que se permite una gran producción de energía eléctrica, tiene la gran limitación de la fuerte contaminación ambiental.

El consumo de energía nuclear en el mundo ha sido durante el año 2011 de 599,3 millones de toneladas equivalentes de petróleo. Los principales países que utilizan este tipo de energía han sido los siguientes (en toneladas equivalentes de petróleo):

Estados Unidos	188,2
Francia	100,0
Federación Rusa	39,2
Japón	36,9
Corea del Sur	34,0
Alemania	24,4
Canadá	21,4
Ucrania	20,4
China	19,5
Inglaterra	15,6

Los mencionados países participan con el 83,4% del consumo mundial de este tipo de energía.

La República Argentina tuvo un consumo de 3,5 (en millones de toneladas equivalentes de petróleo).

Nuestro país tiene en funcionamiento sólo dos centrales atómicas: la de Atucha 1 y la de Embalse Río III. Está terminada e inaugurada la central de Atucha II que sería de aproximadamente más del doble de Atucha 1 pero todavía no entró en funcionamiento.

El consumo mundial de hidroelectricidad durante el año 2011 fue de 791,5 millones de toneladas equivalentes de petróleo. Los principales países consumidores de este tipo de energía fueron los siguientes (en millones de toneladas





equivalentes de petróleo):

China	157,0
Brasil	97,2
Canadá	85,2
Estados Unidos	74,3
Federación Rusa	37,3
India	29,8
Noruega	27,6
Japón	19,2
Venezuela	18,9
Suecia	15,0

Los mencionados países participaron el año 2011 en el consumo de hidroelectricidad mundial con un 70,9%.

China ya habilitó hace pocos años la central hidroeléctrica de Tres Gargantas, la más grande del mundo. La construcción de esta central comenzó a fines de 1994 y se estimó que duraría 19 años. A fines del 2001 se logró abrir el curso del río y en el 2003 comenzó a operar el primer grupo de generadores. Desde el 2004 se instalaron cuatro grupos de generadores por año hasta terminar la obra. La obra se terminó en el 2010. Las personas realojadas principalmente en nuevos barrios construidos en la ciudad de Chongqing fueron casi 2 millones. Esta monumental obra que cuenta con 32 turbinas de 700 MW cada una, dejó bajo el nivel del agua a 19 ciudades y 322 pueblos, sumergiendo 630 kilómetros cuadrados del territorio chino.

La presa mide 2309 metros de longitud y tiene una altura de 185 metros y tiene dos conjuntos de cinco esclusas que salvan una caída de 115 metros. Además tiene un ascensor que puede subir o bajar rápidamente hasta barcos de 3.000 toneladas.

La construcción de la repesa ha permitido evitar inundaciones que producían anualmente miles de muertos, aunque también hay que reconocer que ha generado problemas ambientales diversos.

La producción mundial de biocombustibles (bioetanol y biodiesel) fue la siguiente en miles de toneladas equivalente de petróleo:

2001	10.021
2002	11.830
2003	14.682





La producción de energía y su utilización - 12 de Abril de 2013

2004	16.401	
2005	19.701	
2006	25.648	
2007	34.613	
2008	46.063	
2009	51.802	
2010	58.457	
2011	58.868	
2012	60.000	aproximadamente

Como se puede ver en el listado anterior el crecimiento de casi seis veces en una década es muy importante. De todas maneras, el mencionado crecimiento se ha hecho más lento en los últimos años y en el 2011 con respecto al año anterior ha sido de sólo un 0,7% y también en el 2012 su crecimiento ha sido muy poco.

Teniendo en cuenta que la producción de petróleo ha sido en el año 2011 de 83,576.000 barriles diarios y que la producción total fue de:

$83,576.000 \text{ barriles/día} \times 365 \text{ días} = 30,505 \text{ millones de barriles}$. Teniendo en cuenta que el barril tiene 159 litros lo que nos determina una producción de 4,850 millones de metros cúbicos.

Si la producción de petróleo la expresamos en toneladas, tenemos 3,996 millones de toneladas.

Por lo tanto, la producción de biocombustibles de 60.000.000 toneladas sería el 1,5% de la producción mundial de petróleo. Esto nos muestra que aunque aumentase al 3% de la producción de petróleo, el biocombustible cumple un papel relativo para llenar las necesidades de la población.

Los productores más importantes de biocombustibles durante el año 2011 han sido los siguientes países (en miles de toneladas):

Estados Unidos	28.251
Brasil	13.196
Alemania	2.839
Argentina	2.233
Francia	1.720





China	1.149
Canadá	961
Tailandia	915
España	777
Bélgica	503
Holanda	470
Italia	456

Los mencionados países produjeron el 90,8% del total producido de biocombustibles. Algunos de los países mencionados, como Estados Unidos, Brasil y otros son productores de bioetanol, derivado en el primer caso del maíz y en el segundo de la caña de azúcar. Otros países, como Alemania, Argentina, Francia, etc. son productores de biodiesel, derivado en el caso de Alemania y Francia del aceite de colza. En el caso argentino, derivado del aceite de soja, la capacidad de producción de biodiesel está en alrededor de 3,2 millones de toneladas anuales. De todas maneras, durante el año pasado (2012), se puede haber llegado a una producción de 2,4 millones de toneladas.

Otros tipos de energía

Decíamos en el artículo publicado el año pasado que "el tema energético a nivel mundial es uno de los más preocupantes y estimulantes. Es un hecho que el petróleo, el gas y el carbón, más tarde o más temprano van a ser sustituidos como los principales recursos energéticos del mundo. Entretanto, nuevas fuentes de energía van a ir desarrollándose y sustituyendo a aquellos. Entre esas nuevas fuentes tenemos a la energía eólica, la solar, la energía por fusión y los vehículos impulsados con electricidad. Los biocombustibles ayudan en este tiempo intermedio que puede durar alrededor de 20 o 30 años, pero solo en forma complementaria. En Semanarios anteriores hemos mostrado que el consumo de casi 120 millones de toneladas de maíz para producir etanol en Estados Unidos solo cubre algo menos de un 10% del consumo estadounidense de gasolina. Si se quisiera sustituir totalmente ese consumo con ese etanol habría que utilizar no solo la producción total de maíz de ese país sino la producción mundial y, así y todo, no alcanzaría. Lo mismo pasa con otros granos. Para producir 2,5 millones de toneladas de biodiesel, nuestro país tiene que utilizar alrededor de 15 millones de toneladas de soja, pero ello hace que disminuya la producción de aceite en aproximadamente 2,5 millones de toneladas. Es por lo anterior, que el biocombustible, tanto el etanol como el biodiesel, y lo mismo cabe para el etanol de caña de azúcar y otras materias primas alimenticias, solo cumplen una función complementaria".

Mencionamos en ese artículo el libro del distinguido físico Michio Kaku, "La física del futuro" (original "Physics of Future", 2011) que dedica un especial capítulo al tema energético y es por ello que lo vamos a citar con relativa frecuencia en el futuro.

Simbología utilizada: 1 vatio (o watt) es la unidad de potencia de energía. Su símbolo es W. Un kilovatio (kW) igual a 1.000 W y equivale a 1,25984 caballos de vapor.

Un vatio es equivalen a un julio sobre segundo (J/s)





Un megavatio (MW) es igual 1.000.000 de W, es decir 10 a una potencia de 6, vatios.

Un gigavatio (GW) es igual a 10 a una potencia de 9, vatios.

Un petavatio (PW) es igual a 10 a una potencia de 15, vatios.

Un exajulio (EJ) es igual a 10 a una potencia de 18, julios.

Energía Eólica

Esta es la energía obtenida del viento, es decir que es una energía cinética generada por las corrientes de aire, que a través de distintos procedimientos se transforma en energía eléctrica.

La capacidad eólica instalada a nivel mundial en el período 2001-2011 es la siguiente en MW (recordemos que la capacidad total nominal de energía eléctrica de la República Argentina, según pudimos apreciar en semanarios anteriores, llegaba, según la Secretaría de Energía, a algo más de 29.000 MW):

2001	24.322 MW
2002	31.181 MW
2003	39.295 MW
2004	47.693 MW
2005	59.024 MW
2006	74.122 MW
2007	93.927 MW
2008	120.903 MW
2009	159.766 MW
2010	196.653 MW
2011	239.000 MW

La fuente de esta estadística es la World Wind Energy Association. Como se puede observar, en diez años la capacidad de energía eólica a nivel mundial se ha multiplicado por diez (10) y llega a ser casi 9 veces la potencia nominal instalada en nuestro país de todo tipo de energía eléctrica.

Según la misma fuente, los principales países con instalaciones de energía eólica al año 2011 son los siguientes:

China	62.733 MW
-------	-----------





Estados Unidos	46.919 MW
Alemania	29.075 MW
España	21.673 MW
India	15.800 MW
Italia	6.747 MW
Francia	6.640 MW
Inglaterra	6.018 MW
Canadá	5.265 MW
Portugal	4.290 MW
Dinamarca	3.927 MW
Suecia	2.816 MW
Japón	2.501 MW
Resto del mundo	24.200 MW

Durante el año 2011 se agregaron a nivel mundial 42.175 MW. China sola agregó 18.000 MW. En el año 2010, a nivel mundial se habían agregado 37.642 MW. China sola había agregado 18.928 MW.

Dice Kaku en el mencionado libro: "Un solo aerogenerador no contaminante y seguro puede producir una potencia de 5 megavatios, lo cual es suficiente para abastecer a un pueblo pequeño. Una turbina eólica tiene unas aspas enormes y lustrosas de unos 30 metros de longitud que giran con una fricción casi nula. Las turbinas eólicas generan electricidad del mismo modo que las presas hidroeléctricas y los generadores de bicicleta. El movimiento rotatorio hace girar un imán que se encuentra dentro de una bobina. El campo magnético producido genera un flujo de electrones en la bobina, creando una corriente eléctrica neta. Un gran parque eólico de 100 molinos puede producir 500 megavatios, lo cual es comparable con los 1.000 megavatios que producen una central termoeléctrica o una central nuclear" (pág. 299).

En un artículo publicado en el Semanario de fines de noviembre del año pasado (2012) reproducimos parte del artículo "El futuro de la energía eólica", escrito por el físico Gerhard Samulat, y publicado originalmente en el número de junio del corriente año de "Investigación y Ciencia" (edición española de Scientific American).

En ese artículo se dice que a principios 2009 el profesor Michael B. McElroy, de la Escuela de Ingeniería de Harvard manifestaba: "una instalación adecuada de aerogeneradores en todo el mundo podría suministrar una cantidad de energía 40 veces superior a la demanda global. Su cálculo consideraba la construcción de parques eólicos en regiones del planeta donde no causarían perjuicio ecológico. Suponía, además que los aerogeneradores serían de tamaño mediano (con una potencia nominal de 2,5 megavatios) y que se encontrarían detenidos el 80 por ciento del tiempo. Hoy,





el mayor aerogenerador comercial del mundo, el modelo E-126 de la compañía alemana Enercon, cuenta con una potencia nominal de 7,5 megavatios, lo suficiente para abastecer a unos 10.000 hogares. Para los próximos años, los planes de la estadounidense General Electric incluyen la construcción de una turbina con componentes superconductores cuya potencia ascendería a entre 10 y 15 megavatios. Y aunque es cierto que las instalaciones eólicas permanecen inactivas la mayor parte del tiempo (en ocasiones, la tasa de utilización no llega al 20 por ciento), se trata, en cualquier caso, de un recurso energético cuyas reservas son inagotables

Según la Asociación Mundial de Energía Eólica (WWEA) los aerogeneradores conectados hoy a la red suman una potencia de 215 gigavatios y cubren el 2% del consumo energético mundial, creciendo a un ritmo de 20% anual. Se estima que en el 2030 este tipo de energía cubrirá entre el 25 y 30 por ciento del consumo mundial.

La energía eólica, por supuesto, no puede aportar toda la energía que se necesita en el planeta. De todas maneras, su contribución va a ser cada día más importante. Sin embargo, esta energía se enfrenta a varios problemas. "Se genera solo de manera intermitente, cuando sopla el viento, y únicamente en unas pocas zonas concretas del mundo. Además, a causa de las pérdidas en la transmisión de electricidad, los parques eólicos han de estar cerca de las ciudades, lo cual limita aún más su utilidad" (Kaku, op.cit., pág 299-300).

Las limitantes mencionadas las tiene, también, la energía hidroeléctrica. De todas maneras, la ventaja de la energía eólica con respecto a la hidroeléctrica es que al ser los generadores más pequeños, son modulares y no generan efectos contaminantes como pueden generar las presas. Estas últimas, por el tamaño y las masas de agua de los lagos, pueden generar zonas sísmicas y ser causantes de enfermedades, caso de la represa de Asuán en Egipto.

Energía Solar

La Tierra recibe 174 petavatios de radiación solar entrante desde la capa exterior o más alta de la atmósfera. Aproximadamente el 30% es reflejada y vuelve al espacio mientras el 70% es absorbido por las nubes, los océanos y los continentes.

La energía solar absorbida por los océanos y masas terrestres mantiene la temperatura de la superficie a 14° centígrados. Por la fotosíntesis de las plantas esa energía solar se convierte en energía química, produciendo alimentos, madera y biomasa, de la cual derivan los combustibles fósiles.

"En última instancia, toda la energía proviene del sol. Incluso el petróleo y el carbón son, en cierto modo, luz solar concentrada, porque son consecuencia de la energía solar que recibieron las plantas y los animales hace millones de años. Por lo tanto, la cantidad de energía solar concentrada almacenada en un galón (3,8 litros) de gasolina es mucho mayor que la energía que puede almacenar una batería. Las células solares funcionan convirtiendo directamente la luz solar en electricidad. Este proceso lo explicó Einstein en 1905. Cuando una partícula de luz, es decir, un fotón, choca con un metal, desplaza un electrón, generando así una corriente. Sin embargo, las células solares no son eficientes. Incluso después de décadas de duro trabajo por parte de ingenieros y científicos, la eficiencia de una célula solar ronda el 15 por ciento. La investigación ha ido en dos direcciones. La primera consiste en aumentar la eficiencia de las células solares, lo cual constituye un problema técnico de muy difícil solución. La otra es reducir el coste de la fabricación, instalación y construcción de parques solares" (ibídem pág. 300).





A pesar de los problemas mencionados, la producción de energía solar fotovoltaica crece un 45 por ciento anual, duplicándose cada dos años.

Se estima que la energía total que absorben la atmósfera, los océanos y los continentes puede ser de 3.850.000 exajulios por año. En un segundo, esa energía es mucho mayor al consumo mundial en un año.

Flujo solar anual y consumo de energía por el hombre:

Solar: 3.850.000 exajulios

Energía eólica: 2.250 exajulios

Biomasa: 3.000 exajulios

Uso energía primaria (2005): 487 exajulios.

Electricidad: 56,7 exajulios.

La cantidad de energía solar recibida anualmente es equivalente al doble de toda la energía producida por el hombre derivada de otras fuentes, como son el petróleo, el carbón, el uranio y el gas natural.

Los rendimientos de una célula fotovoltaica de silicio policristalina oscilan alrededor del 10%. Para células de silicio monocristalino los valores oscilan en 15% y para colectores solares térmicos a baja temperatura se puede alcanzar un rendimiento de 70% de transferencia de energía solar a térmica.

Al año 2010 la capacidad de energía solar llegaba a 39.778 MW. Alemania marchaba a la cabeza.

El precio de los sistemas de energía solar fotovoltaica ha decrecido más de un 50% en los últimos 5 años.

En el momento actual, "el coste de la electricidad producida mediante células solares es varias veces el precio de la que se produce a partir del carbón. Pero el coste del hidrógeno solar no deja de bajar a causa de los continuos avances tecnológicos, mientras que el de los combustibles fósiles sigue subiendo lentamente. Se calcula que entre diez y quince años, más o menos, las dos curvas se cruzarán. Entonces las fuerzas del mercado harán el resto" (ibidem, pág. 298).

Energía de fusión

A diferencia de la energía nuclear de fisión, por la que partiendo de un elemento pesado (uranio u otros) se rompe el núcleo, la energía de fusión une, como en el sol, los núcleos del elemento más liviano que es el hidrógeno.

Las centrales de energía nuclear de fisión prosperaron entre los años '50 y 70 en razón a que tiene algunas ventajas con respecto a la utilización de centrales térmicas a carbón, petróleo o gas, en el sentido que no produce grandes cantidades de gases de efecto invernadero. De todas maneras, tiene el inconveniente que por problemas técnicos o ambientales, un mal funcionamiento puede producir un desastre de proporciones. Es lo que ha ocurrido en 1979 en Three Mile Island (Estados Unidos), accidente que felizmente fue controlado, no así el que se produjo en 1986 en Chernóbil (URSS) que fue de consecuencias devastadoras. También ha sido de gran magnitud el accidente que se produjo en Japón el año 2011.





A partir de los mencionados accidentes existe una tendencia a frenar la construcción de nuevas centrales nucleares de fisión. En EE.UU., concretamente, la última se empezó a construir en 1977 y la capacidad nominal producida por sus centrales nucleares ha evolucionado muy lentamente en los últimos años. En el 2000 llegaba a 97.860 MW y en el 2010 a 101.167 MW (según datos del Electric Power Annual 2010).

Lo mismo hay que decir de lo que ocurre en Alemania, donde el gobierno ha anunciado el cierre de todas sus plantas nucleares de fisión hacia el 2023. Este país tiene en funcionamiento plantas nucleares con una capacidad de 21.000 MW. Francia es el segundo país con una capacidad de 63.000 MW y Japón el tercero con una capacidad de 48.000 MW. A nivel mundial la capacidad es de 372.000 MW y en el año 2006 había en construcción 32.000 MW.

En el libro mencionado más arriba, Kaku dice que otro de los problemas que plantea la energía nuclear (por fisión) "es que, cuando se divide el átomo de uranio, se producen enormes cantidades de residuos nucleares, que permanecen radiactivos durante intervalos de entre miles y decenas de millones de años. Un reactor de 1.000 megavatios produce en un año unas 30 toneladas de residuos altamente radiactivos" (ibídem, pág. 306). De ahí que surge el problema de cómo guardar los mencionados residuos.

Nuestro país, cuando se inaugure la planta de Atucha II, que será la tercera, tendrá una potencia de alrededor de 1.600 MW y, por tanto, cerca de 50 toneladas de residuos nucleares por año.

La energía por fusión tiene sobre la de fisión tres grandes ventajas. En primer lugar, el input a usar es el agua de mar ordinaria del cual existe una gran cantidad. Un vaso de agua de unos 225 gramos equivale a la energía contenida en 500.000 barriles de petróleo. En segundo lugar produce muy pocos residuos. En tercer lugar, su manejo es mucho más seguro. Sin embargo, el gran inconveniente que tiene es que todavía no ha entrado en funcionamiento ninguna central de fusión. Kaku estima que a mediados de siglo surgirán las primeras centrales eléctricas de este tipo.

La investigación a este respecto ha logrado grandes avances. Los principales proyectos existentes en materia de fusión son dos:

- a) Fusión por Laser: es el proyecto NIF (Instalación Nacional de Ignición), que se desarrolla en Estados Unidos. Una pequeña bolita de la cabeza de un alfiler, de deuterio y tritio (isótopos del hidrógeno) es calentada por 192 rayos laser simultáneamente a una temperatura de 100 millones de grados. La superficie de esa bolita tiene que recibir la luz del laser con tanta precisión (no puede existir entre ellos un desfase mayor a 30 billonésimas de segundo) dado que en caso contrario la bolita no implosiona esféricamente y no se produciría la fusión.
- b) Fusión en un campo magnético: es un proyecto internacional que funciona en Francia, llamado ITER (Reactor Experimental Termonuclear Internacional). En este proyecto se utiliza unos enormes campos magnéticos para contener el gas hidrógeno caliente, el cual se comprime al mismo tiempo que recibe una corriente eléctrica. La temperatura aumenta a millones de grados (un resumen de ambas experiencias se puede consultar en el libro mencionado de Michio Kaku, pág. 332-339, como así también en artículos que periódicamente aparecen en la revista "Investigación y Ciencia", versión en español de la publicación estadounidense).

