

CREENCIERTE DEMOGRÁFICO, DESARROLLO, RECURSOS ENERGÉTICOS Y AMBIENTE: LA OPCIÓN NUCLEAR

Daniele Menniti
Alessandro Burgio
Nadia Scordino
Universidad de Calabria
Lina Guagliardi,
Consorcio Regional de la
Energía y vigilancia del Medio
Ambiente (CRETA)

El recurso a la energía nuclear aparece como una oportunidad a considerar en espera de nuevas o más eficientes tecnologías para el disfrute de las fuentes energéticas renovables y alternativas que no permiten el abandono definitivo

En los últimos 50 años, la población del planeta ha pasado de poco más de 2.500 a más de 6.000 millones de habitantes. En esta situación, los países que tradicionalmente son considerados desarrollados constituyen sólo cerca del 20% de la población terrestre pero consumen más del 60% de toda la energía requerida a escala mundial. De ésta, cerca del 88% proviene de combustibles fósiles (petróleo, el 38%, gas natural, el 24% y carbón, el 26%), una situación que se presenta, para el futuro, como difícilmente sostenible si, verosímilmente, el punto máximo de la producción de petróleo y gas natural se alcanza, respectivamente, en torno a los años 2010 y 2020/25.

El contexto asume aspectos bastante más críticos si se piensa en las legítimas expectativas de los países en vía de desarrollo, que constituyen el 80% de la población mundial y que ambicionan alcanzar niveles de vida equivalentes a los de los países desarrollados. De hecho, los países en vía de desarrollo están caracterizados por un consumo *per capita* en crecimiento continuo, tanto que los mismos entre 1975 y 2003 lo han duplicado, siendo, sin embargo, mucho más reducido que el de los países desarrollados. Además, las previsiones del **Population Reference Bureau**



(PRB) indican para el futuro un incremento demográfico ulterior, que podría llevar a la población mundial a llegar a 10.600 millones de habitantes en 2050.

En el conjunto, según las estimaciones contenidas en el documento de la **ONU** presentado en el *Foro de Johannesburgo* de 2002, en 2055 los consumos de energía se triplicarán. Las estimaciones de la ONU de 2002 consideraban una tasa de crecimiento del consumo del 2%, que no se corresponde a los valores registrados en 2004, en el que se alcanzó el 4,3%.

En tales circunstancias, el posible agotamiento de las fuentes fósiles, y en particular, del petróleo y del gas natural, es uno de los principales problemas energéticos que habrá que afrontar, pudiendo contar, sin embargo, todavía con reservas muy amplias de carbón.

Sin embargo, la cuestión no es solamente la relacionada con el problema de disponer de suficientes reservas de combustibles fósiles sino también con los efectos que su utilización provoca en el ambiente. Entre esos efectos, el primero de todos es el debido a las emisiones de gases contaminantes, sobre los cuales existen fuertes y preocupantes tomas de posición, como el concierto internacional actualmente en vigor de manera oficial con la entrada en vigor del *Protocolo de Kioto*.

Por consiguiente, es evidente la necesidad de afrontar, por un lado, el problema del agotamiento de los recursos fósiles de energía y, por otro, independientemente de la disponibilidad de tales recursos, reducir los efectos que tienen sobre el ambiente la actual modalidad de producción de energía.

En particular, en lo que concierne a la producción de energía eléctrica, existen actualmente muchas tecnologías pero ninguna parece ser capaz de afrontar por sí sola los problemas de satisfacer la demanda creciente de energía y de la protección ambiental.

Si, por un lado, la generación de las energías renovables resulta totalmente adecuada en lo que respecta a las emisiones contaminantes del ambiente, por otro, dada la situación de la tecnología actual, parece encontrarse en condiciones de satisfacer solamente una mínima parte de las necesidades energéticas mundiales actuales y futuras.

Resulta inevitable, por consiguiente, aumentar fuertemente las inversiones en investigación científica y tecnológica a fin de poder llegar a arbitrar soluciones que permitan obtener la producción de energía de origen renovable y no renovable en proporciones tales que hagan sostenible, a escala mundial, el crecimiento del consumo, garantizando al mismo tiempo un desarrollo global lo más uniforme posible. Sin embargo, la consecución de tales soluciones requiere un margen de tiempo no previsible *a priori*. Tal circunstancia genera un nivel de inseguridad que no parece compatible con las exigencias que se plantean para los próximos 50 años.

En el presente trabajo se examina la opción nuclear como una contribución a la superación de tal incertidumbre. Obviamente, en este momento, la hipótesis de un retorno a la energía nuclear ha de ser considerada solamente como solución transitoria

aunque compleja, a causa de los problemas relativos a su gestión con total seguridad, en la confianza de que la investigación científica y tecnológica llegue a proporcionar las soluciones necesarias para afrontar la creciente demanda energética mundial, además del respeto al medio ambiente.

A fin de poder evaluar cuantitativamente las posibles ventajas derivadas de la opción nuclear, se ha considerado, como ejemplo, la adopción de la energía nuclear para Italia. Se han puesto como comparación dos escenarios posibles: el primero basado en las fuentes energéticas actualmente utilizadas, y el segundo incluyendo también la energía nuclear, en el supuesto de que Italia no hubiera renunciado a ella en el pasado. En esta hipótesis se ha fijado el horizonte temporal de 2010 y la comparación se ha realizado mediante un modelo de optimización lineal, que, para la satisfacción de la demanda de la energía eléctrica, tiene en cuenta a todas las fuentes energéticas utilizadas hoy para su producción, aunque con las limitaciones tomadas por Italia con la firma del *Protocolo de Kioto*, que entró en vigor el 16 de febrero de 2005. Los resultados obtenidos (si bien limitados al escenario italiano) indican la oportunidad de valorar la opción nuclear para contribuir a la satisfacción de las futuras necesidades energéticas globales. Teniendo en cuenta el tiempo necesario para la construcción de nuevas centrales, parece oportuno reavivar en breves fechas un serio debate sobre el uso nuclear, del cual deberán surgir rápidas decisiones que, exentas de contenido ideológico, estén basadas en la evaluación objetiva de la actual situación energética nacional y mundial.

PROBLEMÁTICAS ENFRENTADAS

Las problemáticas del crecimiento demográfico mundial, del desarrollo, de los recursos energéticos y del ambiente deben afrontarse simultáneamente para poder buscar soluciones adecuadas para hacer frente al futuro.

Sin embargo, no es la primera vez que la Humanidad se enfrenta a problemáticas tan fuertemente entrelaza-

das. En un pasado no muy lejano y con mucho menor conocimiento, el hombre ha debido afrontar una situación similar a la actual en muchos aspectos para restablecer el equilibrio entre crecimiento demográfico y recursos necesarios para la subsistencia de la especie humana. En aquella época, además de gran cantidad de recursos entonces no disfrutados como, por ejemplo, el carbón y el petróleo, se vivía en una situación ambiental muy diferente a la actual. En aquellas circunstancias, el hombre, gracias a su ingenio, acertó a superar la crisis mediante invenciones y descubrimientos hasta entonces desconocidos. Hoy parece plantearse el mismo escenario, aunque con dificultades añadidas que, al menos aparentemente, resultan mucho más difíciles de superar.

Por consiguiente, a fin de que la historia se repita, es necesaria una fuerte toma de conciencia por todos los actores en juego y, lejos de peligrosas actuaciones demagógicas y populistas, que promueva un fuerte impulso de la investigación científica y tecnológica para restablecer un nuevo equilibrio global, sin olvidarse que el tiempo es un recurso bastante escaso.

CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO

A fines del siglo XVIII, la perspectiva de un creciente desequilibrio entre la

población y los recursos disponibles para la supervivencia de la especie humana ha sido considerada por muchos como una de las causas desencadenantes de la gran ola revolucionaria que se extendió en Europa como una mancha de aceite a partir de la Revolución Francesa de 1789. Este creciente desequilibrio entre población y recursos fue puesto de manifiesto por **Thomas Robert Malthus** (1766 – 1834) en 1798 como el problema más grande afrontado por la especie humana, afirmando que “*el poder de la población es infinitamente superior al poder de la tierra de producir sustentación para el hombre*”. Según esta teoría, la población se duplicaba cada 25 años (progresión geométrica), mientras la producción alimenticia crecía en progresión aritmética.

La salvación de, por lo menos, una parte de la población humana de las terribles consecuencias de la explosión demográfica, que tanto había preocupado a **Malthus**, fue la revolución industrial de la época: ésta consistió en un extraordinario proceso de expansión productiva gracias a la sustitución del hombre por las máquinas, y de la energía humana y animal por el vapor inicialmente y por la energía eléctrica más tarde. Como consecuencia, a lo largo del siglo XIX, por ejemplo, la población británica aumentó en cuatro veces, mien-

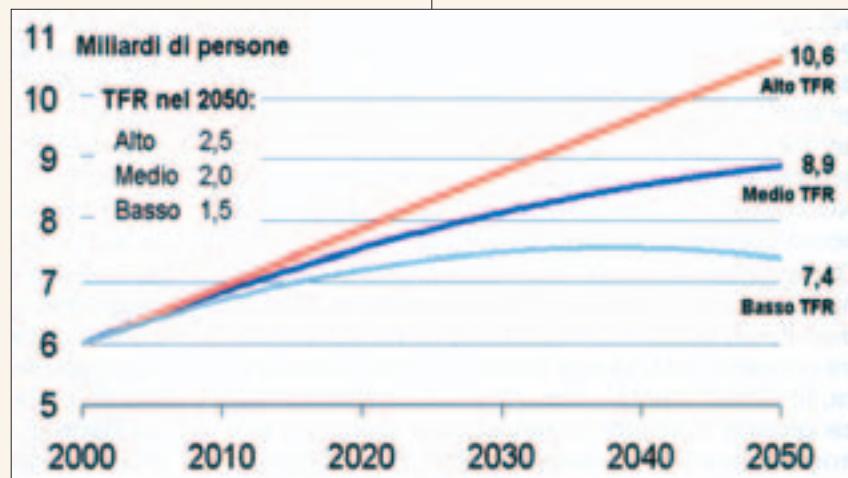


Figura 1.- Población mundial en 2050 (UN Population Division, World Population Prospects: The 2002 Revision)

TFR (Total Fertility Rate): número medio de niños que tendrá una mujer, sobre la base de los parámetro actuales utilizados para la estimación de la tasa de natalidad.

tras el producto nacional lo hizo en catorce veces.

Hoy, apenas comenzado el tercer milenio, se presentan situaciones similares a las analizadas por **Malthus**: de hecho, según los estudios del PRB, para 2050 la población mundial podría llegar a ser entre 7,4 y 10,6 miles de millones de habitantes (Fig. 1). De forma complementaria, es importante observar (Fig. 2) el desequi-

los EEUU, que representan sólo el 4,6% de la población mundial, consumen cada año el 25% de toda la energía gastada en el globo terráqueo. De este dato se deduce que, en el caso de que la exigencia de la población china fuera la de igualar el consumo *per capita* de energía de los estadounidenses, el consumo mundial se reduplicaría. De hecho, China cuenta hoy 1.300 millones de habitantes, es

sería necesario crear una capacidad de generación del orden de 10 millones de megavatios para 2050, a lo que correspondería una producción de energía de cuatro veces el consumo mundial actual. A mayor abundamiento, para facilitar a toda la población actual mundial la posibilidad de alcanzar los niveles actuales de consumo del ciudadano norteamericano medio, el consumo mundial se quintuplicaría.

En la situación actual en la que la producción de energía está confiada preferentemente a los combustibles fósiles, incluso la sola hipótesis de duplicar el consumo resulta irrealizable tanto por los problemas de naturaleza ambiente como por la escasez de las reservas de los más utilizados (petróleo y gas). Por tanto, hoy es totalmente irreal imaginar un desarrollo sostenible considerando los niveles de consumo energético de los países más desarrollados aplicados a toda la población mundial. Sería pues del todo irrazonable imaginarlo en un escenario futuro con una población igual a los niveles previstos para 2050.

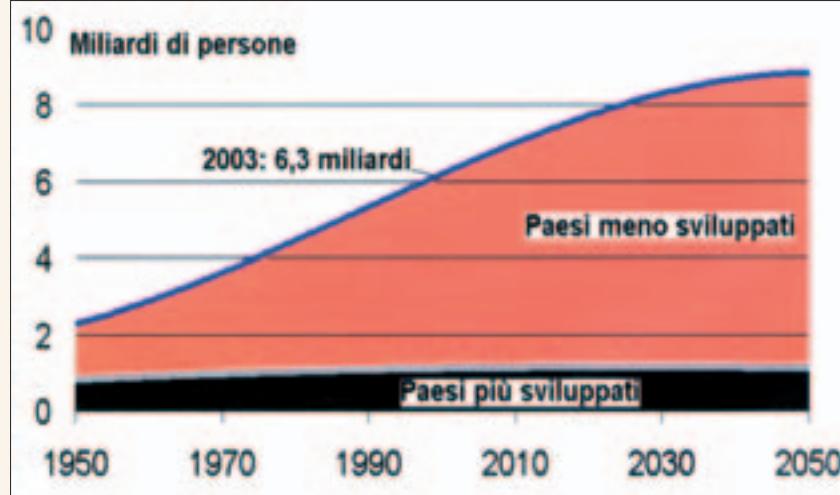


Figura 2.- Población de los países más y menos desarrollados en 2050 (UN Population Division, World Population Prospects: The 2002 Revision)

librio numérico existente entre la población de los países más desarrollados y la de los menos desarrollados: la primera, que presenta un crecimiento prácticamente nulo, cuenta con una cifra de 1,2 miles de millones de individuos: la segunda, por el contrario, ya en nuestros días, cuenta con 5,2 miles de millones. Es lógico que esta fracción de la población mundial, con el crecimiento demográfico estimado y el aumento continuo del consumo energético, origine preocupaciones de carácter malthusiano por el aún mayor potencial desequilibrio entre población y recursos, esta vez principalmente energéticos.

DESARROLLO Y RECURSOS ENERGÉTICOS

Para comprender las preocupaciones originadas por el crecimiento demográfico es necesario considerar también las exigencias de los países en vía de desarrollo. En este aspecto hay que tener en cuenta, por ejemplo, que

dicir, un número similar al del conjunto de todos los países desarrollados.

Para tener un cuadro más realista, es necesario considerar que hoy un tercio de la población mundial no puede disfrutar de la electricidad, mientras que, para la parte restante, la situación no es mucho más rosácea: en este momento se vive disponiendo de unos pocos kilovatios-hora *per capita* anuales, es decir, muchos menos de los que servirían para garantizar una calidad de vida aceptable. Por consiguiente, en el supuesto de poder realizar el objetivo definido por las grandes organizaciones internacionales para el desarrollo, es decir, alcanzar una adecuada electrificación mundial para el año 2050, será necesario ofrecer cada año el enlace a las redes eléctricas de 100 millones de personas más.

Para suministrar a estos nuevos usuarios sólo la misma cantidad de energía consumida por el ciudadano estadounidense medio del año 1950,

AMBIENTE

Los problemas de naturaleza ambiente debidos a la utilización de combustibles fósiles son muy variados. Entre éstos, el que resulta actualmente más preocupante está representado por la emisión de los gases de efecto invernadero, preferentemente el dióxido de carbono. A tales emisiones se atribuyen, principalmente, los cambios climáticos que se manifiestan cada vez más acusados por efecto del calentamiento global del planeta con resultados extremos como inundaciones, tifones y tornados.

Este aspecto ha quedado fuertemente puesto de manifiesto en un reciente informe encargado por el Pentágono sobre los cambios climáticos, *"El escenario de un cambio climático imprevisto y sus implicaciones sobre la seguridad de los Estados Unidos"*, y publicado por el semanario británico *The Observer*. Se describen análisis muy complejos de la correlación entre las emisiones de gases de efecto invernadero y las variaciones del clima, diseñando un cuadro un tanto

apocalíptico que ha sido tomado como referencia para la producción de la famosa película de la Fox, *The day after tomorrow* en la que una inesperada glaciación pilla al mundo desprevenido.

En el informe se refleja como verosímil que, partiendo del aumento global de temperatura, la lenta fusión de la capa de hielo que recubre Groenlandia y el aumento de la lluvia pueden verter en las aguas saladas y densas de los mares del norte ingentes cantidades de agua dulce y, por tanto, menos densa. De esta manera, la corriente de agua caliente, procedente del sur (Fig. 3), aunque menos

de la circulación termoalina. De este modo (Fig. 4), la corriente de agua caliente, no pudiendo alcanzar las latitudes más al norte tal como sucede en condiciones normales, deja de contribuir a atemperar el clima, que así pasa de templado a muy frío. Se consideran también las hipotéticas medidas de defensa nacional que los EEUU deberán adoptar para contrarrestar la previsible afluencia de decenas de millones de refugiados ambientales.

El informe no tiene las características de documento científico, como los redactados por el **Intergovernmental Panel on Climate Change**,

sastre ecológico global, y el empeño concreto y oportuno para invertir los procesos en curso.

LA OPCIÓN NUCLEAR

Los problemas energéticos que se dibujan para el futuro no pueden ser resueltos confiando de forma exclusiva en las fuentes de energía renovables y alternativas (sol, viento, etc.) y a las correspondientes tecnologías conocidas hoy para su disfrute. Con tal motivo se estima que, para la fecha fatídica de 2050, las fuentes renovables de energía, incluida la solar, cubrirían sólo poco más de un tercio del mercado de la nueva generación eléctrica. Si, además, tal escenario fuese alcanzable y tuviera en cuenta el crecimiento de la población mundial y el incremento del consumo de los países menos desarrollados, se comprende que todo esto no sería suficiente para poner remedio a las futuras crisis energéticas y a las graves catástrofes ambientales.

La opción nuclear parece ser una vía obligada para reemplazar en los próximos 10 ó 15 años una parte consistente de los combustibles fósiles, adquiriendo una sensible cuota del mix energético que podría tener un efecto de rampa de lanzamiento sobre todo en países que al día de hoy tienen una fortísima dependencia del petróleo, tanto por los costos como por los tiempos de realización.

Todo lo apenado esbozado es aún más relevante en el frente de las emisiones climáticas. De hecho, cualquier simulación razonable sobre los escenarios futuros del mix energético lleva a afirmar que la única solución con la que el sistema eléctrico podrá reducir drásticamente las emisiones climáticas, está representada por una progresiva implantación de una relevante cuota de nuevas centrales con emisiones nulas o casi nulas: las basadas en la nuclear, en las fuentes renovables o en los combustibles fósiles con separación y confinamiento del CO₂.

LA OPCIÓN NUCLEAR EN ITALIA

Analizada la situación mundial que parece ser tal que inequívocamente confirma la necesidad de recurrir a la

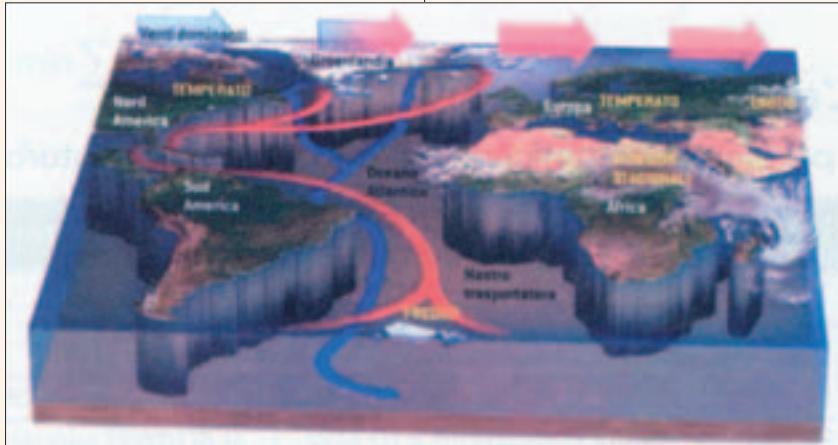


Figura 3.- La circulación termoalina natural actual

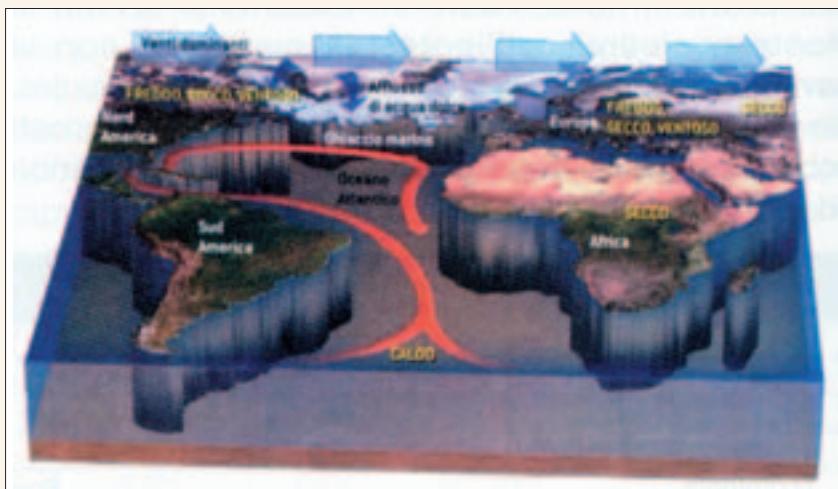


Figura 4.- La circulación termoalina alterada

densa por ser más cálida y que viaja por las capas más superficiales del océano, se vería obstaculizada por el agua fría y dulce que ocuparía las mismas capas superficiales. Se plantea así, como hipótesis, la posibilidad de un colapso más o menos rápido

pero quiere alertar al gobierno estadounidense por si resultase mayormente responsable de las previsiones geopolíticas que el Pentágono aventura. En definitiva, tal informe parece poner a la Humanidad futura en la alternativa de una sequía contra un de-

Tecnología	\bar{I}_b	\bar{a}_{b_j}	$c_{loc,i}$	$c_{ind,i}$	c_i	d_i
	[TWh]			[10 ⁻³ €/kWh]		[g/kWh]
Grande idroelettrico esistente >10 MW	36,3	36,3	3,60	13,9	17,5	0,00
Piccolo idroelettrico esistente <10 MW	9,40	9,40	2,60	18,1	20,7	0,00
Piccolo idroelettrico nuovo <10 MW	0,00	8,70	2,60	69,7	72,3	0,00
Geotermico	4,00	5,50	1,50	74,9	76,4	44,0*10 ³
Rifiuti solidi	4,00	6,70	12,4	93,0	10,5*10 ³	51,0*10 ³
Eolico	1,50	5,00	1,50	77,5	79,0	0,00
Biomasse	3,00	15,0	11,9	98,1	11,0*10 ³	0,0
Biogas	0,40	1,00	0,00	47,5	47,5	0,00
Fotovoltaico	54,0*10 ⁻⁴	0,20	1,50	43,4*10 ³	43,5*10 ³	0,00
Olio. Ciclo Rankine	0,00	62,2	20,7	29,4	50,1	70,0*10 ³
Cogenerazione. Derivati petroliferi	3,50	3,50	9,30	29,4	38,7	53,0*10 ³
Gas naturale Repowering	91,0	13,0*10 ³	5,70	32,5	38,2	36,0*10 ³
Gas naturale ciclo combinato	0,00	42,0	5,70	34,1	39,8	35,0*10 ³
Gas naturale. Grandi impianti	25,6	32,0	2,60	35,1	37,7	31,2*10 ³
Gas naturale. Medi impianti	15,5	28,0	2,80	38,7	41,5	31,3*10 ³
Gas naturale. Piccoli impianti	2,00	10,0	3,10	45,6	48,7	32,5*10 ³
Turbina. Altri gas	8,00	8,20	10,3	49,1	59,4	66,0*10 ³
TAR / ITGCC	9,10	12,0	6,20	46,5	52,7	77,9*10 ³
Carbone. Ciclo Rankine	0,00	25,0	25,8	22,7	48,5	93,0*10 ³
Carbone con cogenerazione	5,00	6,40	5,20	20,7	25,9	97,6,0*10 ³
Carbone senza cogenerazione	1,50	2,00	5,20	12,9	18,1	104*10 ³
Nucleare	0,00	7,36	0,40	var		0,00

Tabla 1.- Producción esperada, costos esperados y emisiones en 2010

opción nuclear, se reseña a continuación la tentativa de efectuar valoraciones cuantitativas, aunque limitadas al caso italiano. El horizonte temporal tomado en consideración es el año 2010, fecha en que se alcanzará previsiblemente la punta máxima de producción del petróleo, ya que sería extremadamente arriesgada cualquier previsión que superara esa fecha. El objetivo es recabar la composición óptima de la generación de energía eléctrica con las diversas fuentes energéticas que hoy se disfrutan en Italia, con el respeto de satisfacer la demanda de energía prevista para 2010, y el respeto al *Protocolo de Kioto*, considerando dos escenarios: uno basado en las actuales fuentes energéticas utilizadas en Italia, y el otro considerando también la energía nuclear, en el supuesto de que Italia no hubiera renunciado a ella. Así es posible obtener en ambos casos el mix óptimo con relación a los costos totales de la generación eléctrica de diversas fuentes.

APROXIMACIÓN NUMÉRICA Y MODELO MATEMÁTICO

El estudio ha sido realizado mediante

un modelo matemático de optimización derivado de uno utilizado con el fin de valorar las ventajas para Italia de adherirse al *Protocolo de Kioto*, pero que no contempla la generación de origen nuclear. Modificando oportunamente la función objetivo y el conjunto de los vínculos del modelo citado, se obtiene el modelo utilizado en el presente trabajo, que consiste en tener en cuenta la *opción nuclear*. La nueva función objetivo es la suma de todos los costes asociados a los diversos recursos energéticos disponibles, los cuales, por tanto, se convierten en las variables decisivas del problema. Se han considerado por separado los costes industriales (factores de producción), los ambientales locales (impacto ambiental/sanitario) y los ambientales globales (cambios climáticos mundiales y gases que los producen). Los vínculos consisten, esencialmente, en el cumplimiento de las necesidades de energía eléctrica en Italia prevista para 2010, y el cumplimiento de los límites de emisión de anhídrido carbónico.

La demanda estimada para 2010 está sacada de los datos facilitados por la **Gestora de la Red de Trans-**

misión Nacional (GRTN), y consiste en 353 TWh. El valor límite de las emisiones de CO₂ está calculado considerando que el sector eléctrico produce cerca de un tercio de las emisiones nacionales de CO₂ y, por tanto, el valor límite es un tercio del 6,5% de las emisiones solas de CO₂, es decir 115,7 millones de toneladas/año.

Para tener indicaciones sobre la oportunidad de considerar actual la opción nuclear, inicialmente se ha planteado el supuesto de disponer de nuevo de la presencia, en el parque italiano de generación, de la central nuclear de Carozo: esa central, que entró en servicio en 1981 y fue cerrada en 1990, tenía una potencia nominal de 882 MW y, en cinco años de actividad produjo cerca de 30.000 millones de kWh. Consecuentemente, se ha vuelto a proponer el vínculo del límite superior (*upper bound*) de la producción de origen nuclear, planteando un escenario con diversos valores de la producción nuclear y dejando inmutables los otros vínculos del problema.

SIMULACION NUMÉRICA

Las diferentes simulaciones determinan la composición óptima de la ge-

	Scenario 1		Scenario 2	
Costo complessivo [10 ⁻⁶ €]	17.890,74	17.824,58	17.800,81	17.364,33
Risparmio [10 ⁻⁶ €]	0,00	66,16	89,93	526,41
C _{ind} nucleare [10 ⁻³ €/kWh]	-	80,00	75,00	15,00
Tecnología				
Grande idroelettrico esistente >10 MW	36,3	36,3	36,3	36,3
Piccolo idroelettrico esistente <10 MW	9,40	9,40	9,40	9,40
Piccolo idroelettrico nuovo <10 MW	8,70	8,70	8,70	7,07
Geotermico	4,00	4,00	4,00	4,00
Rifiuti solidi	4,00	4,00	4,00	4,00
Eolico	5,00	5,00	1,50	1,50
Biomasse	5,23	3,00	3,00	3,00
Biogas	1,00	1,00	1,00	1,00
Fotovoltaico	54,0*10 ⁻⁴	54,0*10 ⁻⁴	54,0*10 ⁻⁴	54,0*10 ⁻⁴
Olio. Ciclo Rankine	8,37	8,37	8,37	8,37
Cogenerazione. Derivati petroliferi	3,50	3,50	3,50	3,50
Gas naturale Repowering	13,0*10 ¹	13,0*10 ¹	13,0*10 ¹	13,0*10 ¹
Gas naturale ciclo combinato	42,0	42,0	42,0	42,0
Gas naturale. Grandi impianti	32,0	32,0	32,0	32,0
Gas naturale. Medi impianti	28,0	28,0	28,0	28,0
Gas naturale. Piccoli impianti	10,0	10,0	10,0	10,0
Turbina. Altri gas	8,00	8,00	8,00	8,00
TAR / ITGCC	9,10	9,10	9,10	9,10
Carbone. Ciclo Rankine	0,00	0,00	0,00	0,00
Carbone con cogenerazione	6,40	6,40	6,40	6,40
Carbone senza cogenerazione	2,00	2,00	2,00	2,00
Nucleare	0,00	2,23	5,73	7,36

Tabla 2.- Producción y costos globales para los dos escenarios

neración de energía eléctrica en Italia en 2010. Tal composición se ha calculado inicialmente considerando los recursos energéticos y las tecnologías actualmente utilizados (escenario 1); a continuación se ha añadido la nuclear (escenario 2). Ambos escenarios se han modelado como problemas de optimización lineal, y resueltos mediante el software *Lingo*.

Los datos utilizados están reflejados en la Tabla 1, y representan, para cada uno de los recursos energéticos y su respectiva tecnología, la producción mínima l_{bi} (*lower bound*) y máxima ub , (*upper bound*) esperadas, los costos ambientales locales c_{loc-i} , los industriales c_{ind-i} , la suma de ambos c_i y la cantidad a_i de CO_2 emitida. La última fila in-

forma de los datos relativos a la tecnología nuclear.

La Tabla 2 refleja en la primera columna el escenario 1, producción nuclear nula y, para simplificar, sólo tres columnas en el escenario 2, con diferentes valores de producción de energía nuclear. Sin energía nuclear, escenario 1, el costo total de genera-

ción de energía eléctrica en Italia en 2010 será del orden de 17.890 millones de euros; ese costo, lógicamente, disminuye en proporción a la cantidad de energía nuclear considerada, como se aprecia en las columnas del escenario 2: con la máxima producción nuclear (*upper bound*) el costo total de la generación de la energía

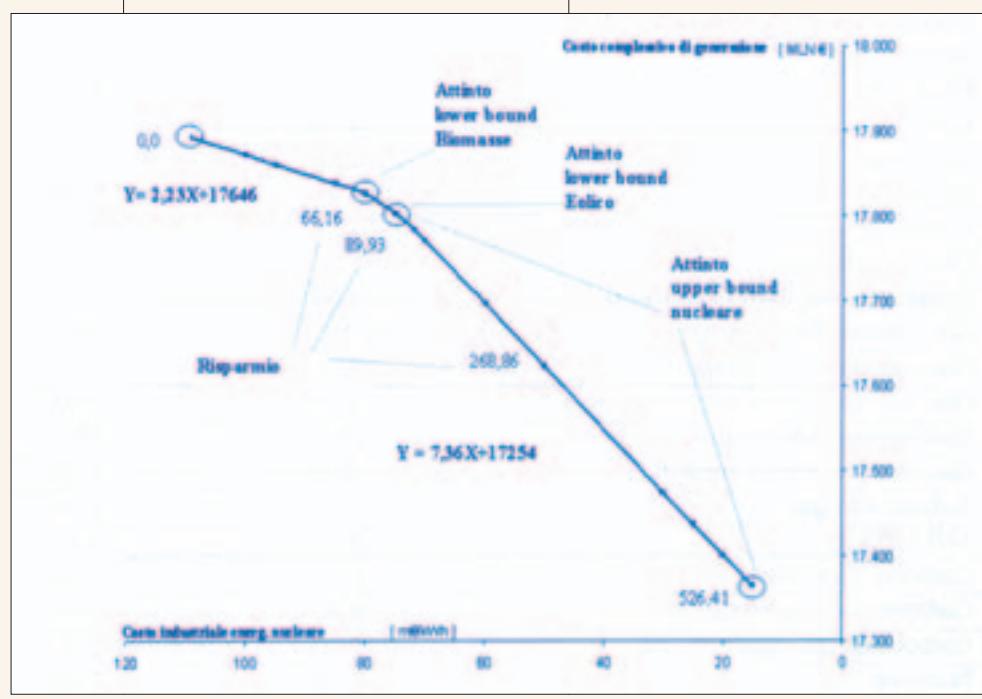


Figura 5.- Costo total de generación en 2010 si fuera puesta en funcionamiento la central nuclear de Caorso

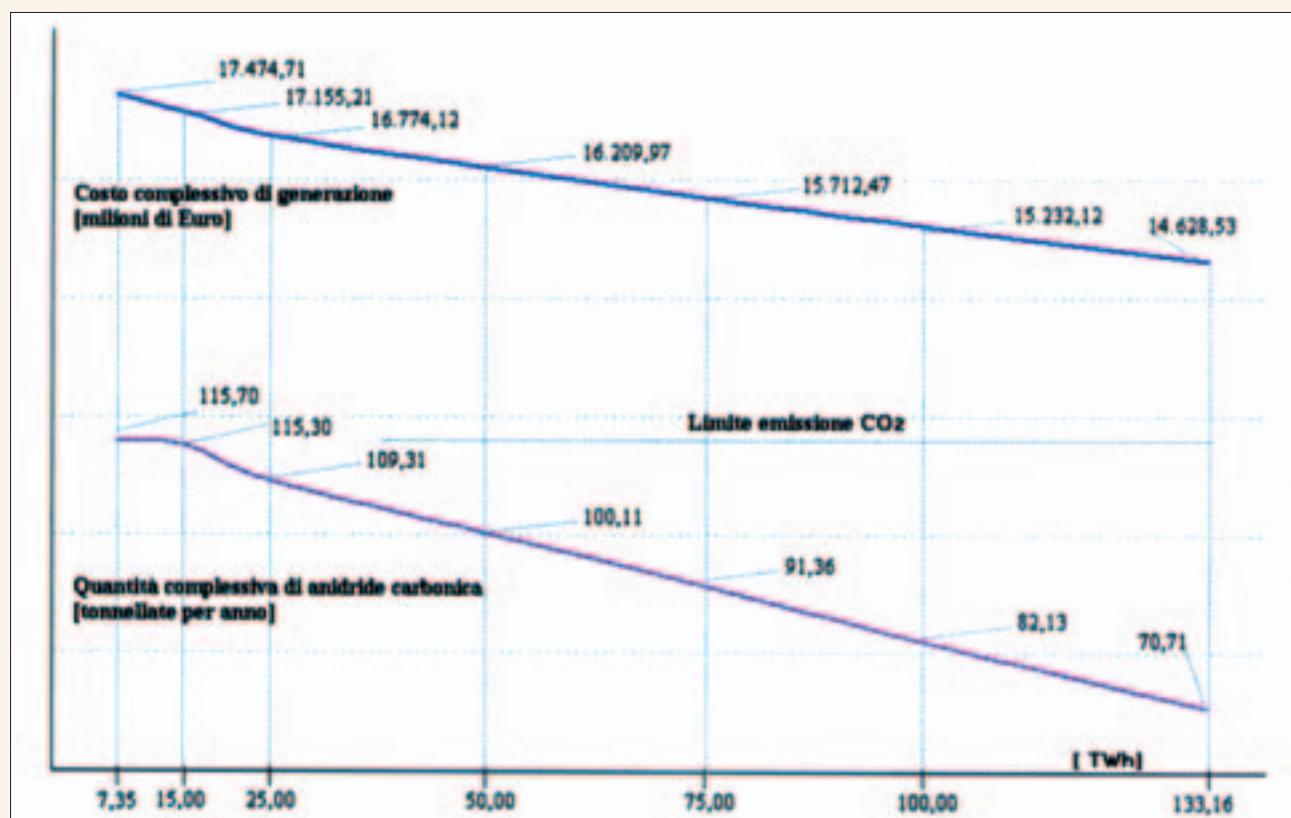


Figura 6.- Costo total de generación y anhídrido carbónico emitido, en función de la energía producida en la central nuclear

eléctrica en 2010 será de 17364 millones de euros, es decir, un ahorro de 526 millones.

La Figura 5 representa el costo total de generación en función del costo industrial de la energía nuclear, que obviamente disminuye cuando la producción de la misma aumenta, con lo que también disminuye el costo total de generación; a lo largo de la curva se reflejan con circuitos diversas hipótesis estudiadas y las cantidades ahorradas en millones de euros.

Tanto la Tabla 2 como la Figura 5 están basadas en la hipótesis de volver a poner en servicio la central nuclear de Caorso, con un límite superior de producción anual de 7,36 TWh, lo que representa sólo el 2,08% de la producción requerida. Extrapolando hasta una producción nuclear de 133 TWh, un 37,7% de la demanda, el costo total de la producción sería de 14.628 millones de euros, o sea un ahorro de 3200 millones: las emisiones de CO₂ bajarían de 115,7 a 70,7 millones de toneladas, lo que permitiría operar muy por debajo del límite impuesto en el *Protocolo de Kioto*.

Toda esta hipótesis está reflejada en la Figura 6.

CONCLUSIONES

Hemos puesto en evidencia la necesidad de una revolución energética que permita resolver los problemas actuales de la Humanidad. Una revolución similar a la que en el siglo XIX evitó que fueran realidad las catastróficas previsiones de **Malthus** y que consiste en encontrar soluciones innovadoras para la producción de energía eléctrica, así como afrontar el crecimiento demográfico y los correspondientes consumos energéticos, el agotamiento de las reservas de combustibles sólidos y las mutaciones climáticas ocasionadas por el calentamiento general del planeta.

Pero tal revolución podría no ser realizada con tiempo suficiente al requerir períodos de actuación muy largos y difícilmente previsibles. Resulta, por tanto, categórico el individualizar soluciones que, si bien transitorias, permitan con el tiempo afrontar la creciente demanda de energía sin comprometer posteriormente el clima, con el fin de ganar el

tiempo tan escaso. Por tanto, con referencia a la situación italiana, en este estudio se ha afrontado el problema de satisfacer la demanda eléctrica del año 2010. Se han puesto en juego dos escenarios posibles: uno basado en las fuentes energéticas actualmente utilizadas; el otro considerando también la energía nuclear en la hipótesis de que Italia no hubiera renunciado a ella en el pasado. La comparación, realizada con la ayuda de un modelo de optimización lineal, ha tenido en cuenta la demanda de energía eléctrica prevista para 2010 y con todas las fuentes energéticas actualmente utilizadas en Italia, así como los compromisos impuestos por el *Protocolo de Kioto*.

De los datos numéricos reflejados, resulta, por lo menos oportuno, a medio término, reconsiderar la opción nuclear en espera de que la llegada de nuevas tecnologías pueda garantizar el satisfacer la creciente demanda de energía con el respeto de las condiciones necesarias para garantizar, en todo el planeta, un desarrollo sostenible. ■

(AEIT, diciembre 2005, págs. 34-42)