

SEMINARIO INTERNACIONAL
ENERGÍA NUCLEAR, EDUCACION, EMPLEO Y MEDIO AMBIENTE
COMPARACION DE LA ENERGÍA NUCLEAR CON OTRAS FUENTES
ENERGETICAS

Francisco Carlos Rey
Prospectiva Energética
Gerencia de Cooperacion y Transferencia de Tecnología.
Comisión Nacional de Energía Atómica

Introducción.

Al comparar distintas fuentes de energía para cubrir un crecimiento de la demanda eléctrica no se deben descuidar los aspectos económicos, pero tampoco debemos descuidar los aspectos relacionados con la salud y el medio ambiente porque en un mundo en el que la demanda de energía, principalmente la energía eléctrica, crece a gran velocidad también puede crecer a gran velocidad el deterioro del medio ambiente producido al generar esa energía.

Para que el desarrollo sea sustentable es decir perdurable en el tiempo el impacto que se produzca en el medio ambiente debe ser compatible con la capacidad de remediación que tiene la naturaleza.

Este último aspecto es normalmente descuidado o tenido en cuenta parcialmente y sólo si las normas legales lo obligan

El sistema argentino si bien obliga a la realización de un estudio de impacto ambiental para autorizar nuevas instalaciones y establece para todas las instalaciones generadoras existentes límites a las emisiones por chimenea de algunos contaminantes, limita este control sólo a los aspectos locales de la contaminación ambiental (partículas, SO_x, NO_x, radionucleidos, etc.).

Las emisiones de gases de efecto invernadero aún no son tenidas en cuenta en la regulación argentina pero esto no constituye una excepción pues en el resto del mundo se discute mucho pero son pocas las medidas efectivas para evitar su crecimiento.

En este trabajo nos hemos propuesto realizar primero una comparación de los costos de generación de las fuentes disponibles en la actualidad analizando sólo los aspectos económico financieros y luego introducirle la variable medioambiental y en este último caso comparar primero la magnitud de los distintos tipos de impacto y luego intentar valorizarlos introduciéndolos al cuadro de costos.

En el análisis de los impactos se utiliza el concepto de “cadena energética”, teniendo en cuenta las emisiones desde la extracción del recurso hasta la disposición de los residuos pasando por las etapas de transformación y teniendo en cuenta además las emisiones producidas en la fabricación de los materiales de construcción de las plantas generadoras.

Comparación económica

Actualmente los costos de generación comparativos de los posibles candidatos a cubrir un aumento de la demanda eléctrica del sistema argentino con la regulación vigente son decir teniendo en cuenta solo los aspectos económico financiero son:

Fuente y Tecnología	costo variable (Comb.)	costos Fijos de O y M *	costos de capital (amortiz.)	costo total
	\$/MWh	\$/MWh	\$/MWh	\$/MWh
Nuclear. (Candu)	3,50	7,99	25,68	37,17
Gas N (Ciclo Combinado)	15,62	3,42	6,63	25,67
Gas N (Turbina de Gas)	23,43	2,28	4,73	30,44
Fuel Oil (Turbina de Vapor)	39,18	4,57	16,56	60,31
Carbón (Turbina de Vapor)	22,22	4,57	21,53	48,32
SOLAR	0,00	4,57	204,36	208,93
EOLICA	0,00	2,85	61,93	64,78

- (O y M): Operación y Mantenimiento.

En el análisis económico no se incluyó la energía hidráulica pues los costos de esta están muy ligados a la localización del emprendimiento, pero podemos considerarla muy similares a la de origen nuclear.

A dichos costos de generación llegamos a partir de los siguientes datos:

Tipo de Central generadora	Costo de Capital \$/kWe	Costos fijos (OyM) \$/kW año	Costo de Combustible		Poder Calorífico Kcal/Unid	Rendim Central Kcal/kWh	Disp *	IDC ** %
			\$/Unid	Unid				
N 600 (Candu)	1520	70	194,62	Kg	144450000	2600	0,85	23
GTCC 800	400	30	0,082	M ³	8400	1600	0,85	5
GT 250	300	20	0,082	M ³	8400	2400	0,85	0
TV(FUEL)	1000	40	0,16	Kg	9800	2400	0,85	5
TV(Carbón)	1300	40	0,05	Kg	5400	2400	0,85	5
SOLAR	2200	40	0	-	-	-	0,2	0
EOLICA	1000	25	0	-	-	-	0,3	0

*Disp: disponibilidad

**IDC: Intereses durante la construcción

Sobre estos datos los únicos cambios importantes que se pueden prever en el horizonte cercano y que tendrán incidencia en los costos de generación son:

-Aumentos en los valores de los combustibles fósiles aunque es difícil prever su magnitud debido a la incerteza en los valores futuros del petróleo y en que medida el valor del gas natural va a acompañarlos.

-Posibles disminuciones en los costos de inversión de las instalaciones nucleares y de fuentes renovables (solar y eólica).

Como podemos apreciar en la tabla siguiente el valor del gas natural utilizado para el cálculo es equivalente en calorías a un valor del barril de petróleo de \$13,39 y es el valor de referencia adoptado por el Ente Nacional Regulador del Gas para el Gran Buenos Aires y es superior en casi un 20 % al valor que declaran algunos generadores de la región.

Tipo	Precio		Precio equivalente		
	\$/Unid	Unid	\$/Gcal	\$/MBTU	\$/BOE
Gas Natural	0,082	M3	9,76	2,45	13,39
Fuel Oil	0,16	Kg	16,33	4,10	22,39
Diesel Oil	217	M3	20,87	5,24	28,61
Nuclear	215,09	Kg	1,42	0,36	1,95

Gcal: Giga calorías

MBTU: Millón de “British Thermal Units”.

BOE: “Barrel of Oil Equivalent”.

De todas formas y por el momento el equipo más competitivo desde el punto de vista económico es la turbina de gas a ciclo combinado que utiliza gas natural como combustible.

Riesgos e impacto en salud y medio ambiente.

En este punto partimos con la certeza de que no existe ninguna fuente de generación eléctrica que no produzca un determinado impacto en el medio ambiente y su utilización no tenga un riesgo asociado.

Un criterio más amplio para su evaluación es analizar la totalidad de la cadena energética es decir desde la extracción del recurso hasta la gestión final de los residuos pasando por la etapa de generación eléctrica y teniendo en cuenta además las emisiones y riesgos al producir los materiales que se utilizan en la construcción de las unidades generadoras.

Entre los impactos y riesgos producidos por las distintas fuentes energéticas a lo largo de toda la cadena podemos mencionar los siguientes:

<p>Fósiles Frecuentes accidentes en la etapa extractiva y en el transporte de los combustibles con grandes derrames provocando contaminación de aguas costas y tierras. La extracción del carbón posee una de las tasas de mortalidad más altas en la minería. Degradación de los suelos en las zonas de extracción de petróleo (piletas de petróleo, derrames de aguas contaminadas contaminación de napas etc.). Alto contenido tóxico en humos y cenizas. Lluvias ácidas con destrucción de forestación e impacto en salud. Contaminación urbana. Emisiones de gases de efecto invernadero</p> <p>Nuclear. Riesgo de accidentes Emisiones de radionucleidos al ambiente Dosis radioactiva ocupacional Impacto térmico en ríos y embalses Gestión de residuos Gestión de desmantelamiento.</p>	<p>Hidráulica Alta tasa de mortalidad en la construcción y en accidentes por rotura de represas. Perdidas de uso de la tierra. Desplazamiento de poblaciones Pérdida de biodiversidad Cambios en los ecosistemas. Propagación de enfermedades. Emisiones de metano</p> <p>Eólica Contaminación sonora. Mortandad de aves. Alta ocupación del suelo Emisiones en la fabricación de los aerogeneradores.</p> <p>Solar. Riesgo de enfermedades pulmonares para trabajadores durante la fabricación Problemas de gestión de los desechos Vida corta de las instalaciones de acumulación de energía y problemas con la gestión de sus residuos. Uso extensivo de superficies del suelo.</p>
---	--

En el caso de la generación nuclear la gestión de residuos y el desmantelamiento no constituyen realmente un impacto si se realiza correctamente su gestión

La magnitud de estos impactos y riesgos, sus características, sus consecuencias presentes y futuras, la existencia de metodologías de mitigación, y su costo es lo que permiten clasificar como sustentable o no el crecimiento de la generación eléctrica basada en una determinada fuente de energía o en una mezcla de ellas.

Sobre las emisiones al ambiente de la etapa de generación podemos clasificarlas entre los aspectos locales como ser la emisión de partículas o sustancias que provocan lluvia ácida o que representan un peligro en la región donde está localizada la central o en sus trabajadores y los aspectos globales que si bien no afectan en forma directa a los vecinos de la instalación lo hacen indirectamente a través de efectos en todo el planeta Entre estos últimos se encuentran los gases de efecto invernadero.

Aspectos destacables.

Evaluación del riesgo

El riesgo a un accidente y sus consecuencias es uno de los aspectos que están latente en cualquier evaluación. La evaluación del riesgo cuenta con metodologías reconocidas tales

como el enfoque de daño esperable que tiene en cuenta las pérdidas potenciales provocadas por un accidente junto con la probabilidad de ocurrencia del mismo. Sin embargo, ciertos tipos de riesgo, por ejemplo el asociado con la posibilidad de un accidente severo o la exposición a campos electromagnéticos han dado origen a una preocupación por parte del público muchas veces desproporcionado con respecto a la magnitud del mismo. En este marco la percepción y la aversión del riesgo por parte del público son muy difíciles de evaluar.

Para un análisis objetivo es necesario recurrir a las estadísticas de los accidentes ocurridos e inferir de allí cual puede ser la magnitud y la probabilidad de lo que puede ocurrir.

Si analizamos en el mundo los accidentes en el sector energético que han provocado más de 5 víctimas fatales directas producidos entre 1970 y 1992 nos encontramos con el siguiente cuadro:

	Eventos	Fatalidades		Promedio**. GW(e)ño
		Rango	Total	
Carbón*	133	5-434	6418	0.32
Petróleo	295	5-500	10273	0.36
Gas Natural	88	5-425	1200	0.09
Gas Licuado	77	5-100	2292	3.1
Hidráulica	13	10-2500	4015	0.8
Nuclear	1	31	31	0.01

*El total es 10 veces mayor si se incluyen los accidentes de menos de 5 víctimas fatales

**Promedio: es el promedio de fatalidades producida por Gw eléctrico por año

Fuente: Hirschberg S. "Severe Accidents in the Energy Sector", Paul Scherer Institute Villigen Suiza

Densidad energética (uso del suelo)

Uno de los aspectos de la densidad energética es el uso del suelo. La densidad energética en términos de uso del suelo de la generación de origen fósil o nuclear es alta comparándola con las energías renovables pues requieren menores superficies de suelo para la producción de cantidades equivalentes de energía.

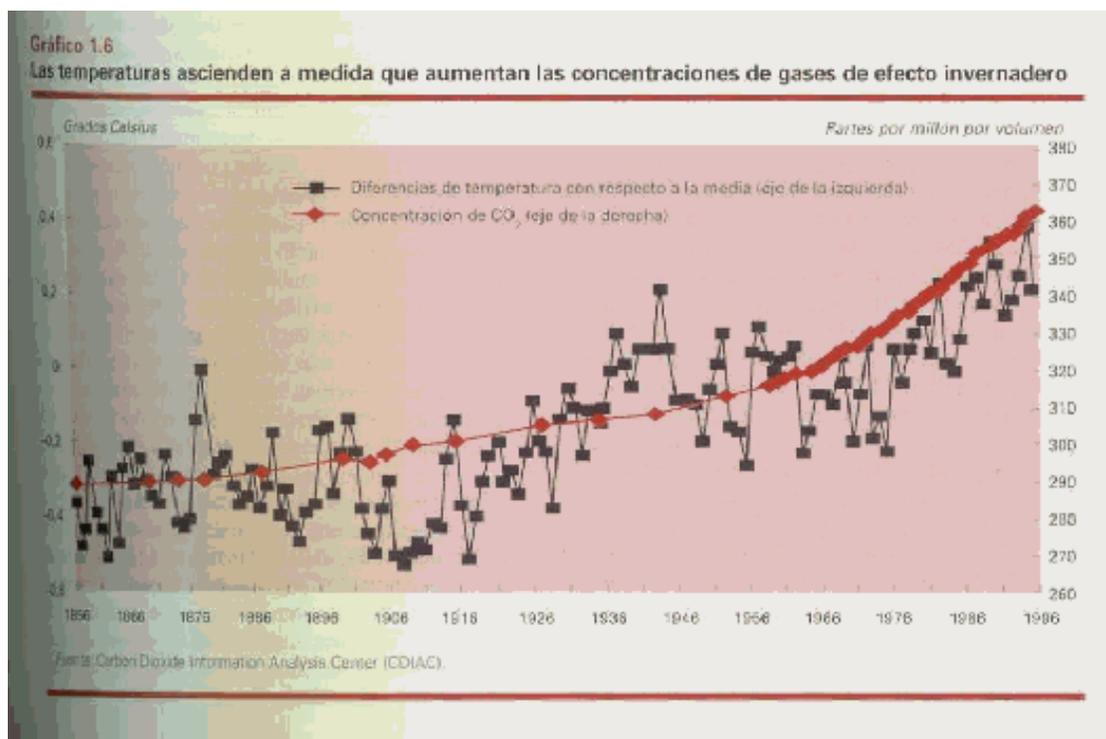
Para efectuar una comparación se estimó el área necesaria para una instalación de 1000 Mwe a partir de distintas fuentes.

Recurso	Área necesaria
Fósil o Nuclear	1 - 4 Km ²
Solar (térmica o fotovoltaica)	20 - 50 Km ²
Eólica	50 - 150 Km ²
Plantaciones de Biomasa	4000 - 6000 Km ²

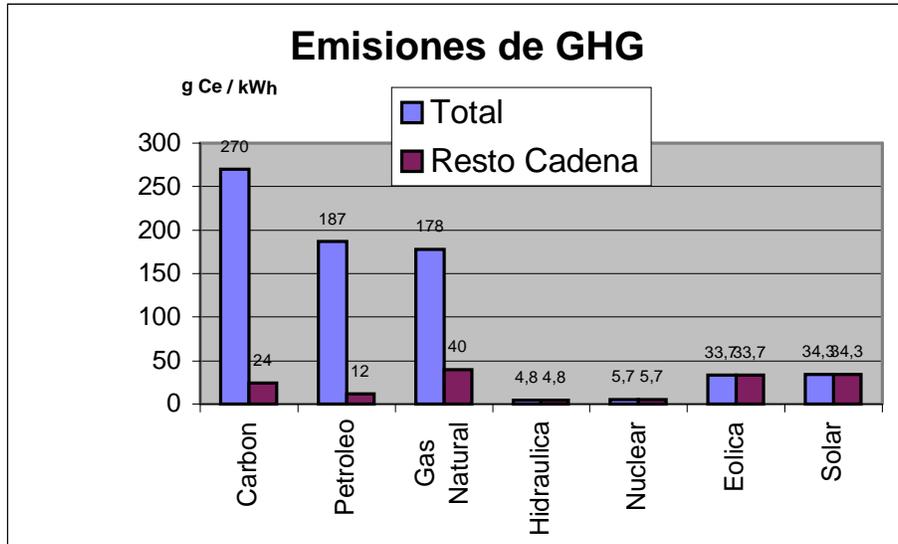
Fuente: "Sustainable Development and Nuclear Power" IAEA Vienna 1997

Emisión de gases de efecto invernadero.

Es bien conocida la relación entre la concentración de los llamados gases de efecto invernadero en la atmósfera y la temperatura promedio del planeta, temperatura y concentración que vienen ascendiendo en los últimos 140 años (fecha desde la que se tiene registro) y es aceptado el origen antropico de este crecimiento.



Teniendo en cuenta la totalidad de la cadena energética se comparan a continuación las emisiones equivalentes de CO₂ de distintas fuentes de energía, los valores están expresados en gramos de carbono equivalente por kWh es decir están tenidos en cuenta todos los pasos de la cadena y las emisiones de todos los gases con efecto invernadero expresadas como Carbono



Por resto de la cadena se entienden todas las etapas de la cadena energética excluida la de generación eléctrica.

Fuente: Y Uchiyama IAEA SM 338/33.

Valorización de las externalidades

Los costos externos se presentan cuando la actividad económica de un grupo afecta directamente a otro grupo que no está directamente involucrado en la actividad y al mismo tiempo los efectos asociados a la actividad no están completamente reflejados en los precios del mercado.

La valorización de estos costos externos es un tema controvertido y puede tener distinto valor dependiendo de en qué país se realice el estudio y de los criterios de evaluación empleados.

A modo de ejemplo mostramos una evaluación de externalidades de la generación eléctrica teniendo en cuenta la cadena energética efectuada por el Paul Scherer Institute de Suiza en centavos de ecu(moneda común europea)/kWh.

	Coal	Lignite	Gas CC	Nuclear	PV	Wind
Public health	0.9	1.0	0.3	0.03-0.11	0.08	0.02
Occupational health	0.1	0	0.002	0.005	-0.03	0.004
Crop losses	0.03	0.04	0.02	0.004	0.02	0.0005
Material damage	0.02	0.02	0.004	0.001	0.01	0.0003
Noise	n.q	n.q.	n.q	n.q	n.q	0-0.006
Ecosystem damage	n.q	n.q	n.q	n.q	n.q	n.q
Global warming	1.6-4.1	1.9-4.9	0.7-1.8	0.04-0.09	0.1-0.3	0.01-0.03
Sub total	2.7-5.2	3.0-6.0	1.0-2.1	0.08-0.21	0.18-0.38	0.035-0.061

Los bajos costos externos de la generación nucleoelectrica se deben a que esta tiene ya internalizados la mayoría de estos costos es decir que en el costo de inversión están incluidos las medidas para minimizar el riesgo y salud ocupacional, en los costos de operación y mantenimiento están incluidos la reserva de fondos para desmantelamiento y gestión de residuos y en el combustible esta incluida la remediacion del impacto de la minería.

Resultados

Si tomamos los promedios de los costos externos de cada caso los convertimos a \$/MWh y los adicionamos a los costos económicos se obtienen los siguientes valores de costos de generación teniendo en cuenta las externalidades

	(combust.)	(O y Mant.)	(Amortiz.)			
	costo	costo	costo	Total	Costos	Total
	variable	fijo	de capital	sin amb	Ambientales	Con amb.
	\$/MWh	\$/MWh	\$/MWh	\$/MWh	\$/MWh	\$/MWh
Nuclear	3,81	7,99	25,68	37,47	1,305	38,78
Carbón	22,22	4,57	21,53	48,32	35,55	83,87
Gas Natural (CC)	15,62	3,42	6,63	25,67	13,95	39,62
Eólica	0,00	2,85	61,93	64,78	0,432	65,21
Solar	0,00	4,57	204,36	208,93	2,52	211,45

Como podemos apreciar si tenemos en cuenta los costos externos de la cadena energética la generación nuclear pasa a ser la generación eléctrica más económica.

Debemos tener en cuenta que los valores indicados arriba no son absolutos ni inamovibles sino que evolucionan en el tiempo dependiendo de la disponibilidad de los recursos tanto naturales como medio ambientales y a la evolución de la tecnología tanto de producción como de remediación.

Es esperable que en un futuro cercano el aumento del deterioro ambiental produzca un incremento de los esfuerzos de mitigar el impacto ambiental de la generación eléctrica que mejore aun más la competitividad de la generación nuclear única alternativa competitiva tecnológica y económica para reemplazar en los sistemas eléctricos de envergadura a los combustibles fósiles.

Un caso distinto es la generación aislada en donde la generación eólica y en algunos casos la solar resultan ser la mejor opción para evitar la emisión de gases de efecto invernadero pero por su magnitud tienen poca incidencia sobre las emisiones totales.

Conclusiones

Para evitar que el crecimiento de la demanda de energía, crecimiento que es inevitable por los requerimientos de mejor calidad de vida de los seres humanos, provoque un daño irreparable en el medio ambiente cada vez mas será necesario tener en cuenta las externalidades de la producción de esa energía.

Hasta la fecha todas estas evaluaciones son teóricas y enunciativas y no tienen una consecuencia económica que incida en las decisiones.

Él tenerlas en cuenta debe significar establecer los mecanismos que las incluyan entre las variables que se deben considerar en la selección de las fuentes para cubrir una demanda de energía independientemente de quien sea el que deba cubrir esa demanda.

Él incluirlas en los costos es el primer paso para que empiecen a utilizarse las fuentes de energía que cumplan con el requisito de ser las más económicas en un sentido más amplio es decir desde un punto de vista económico y medio ambiental, requisito ineludible si pretendemos dejarle a nuestros descendientes un mundo con una mejor calidad de vida.