



Colette LEWINER es Presidenta de la Sociedad Nuclear Europea y Presidenta y Jefe del Ejecutivo de SGN (Société Générale pour les Techniques Nouvelles).

COMPETITIVIDAD DE LA ENERGIA NUCLEAR

C. LEWINER

Como en cualquier otro sector económico, el coste de la unidad producida es determinante en el desarrollo del producto. El uso principal de la energía nuclear es actualmente la generación de electricidad y el coste eléctrico del kWh es un factor significativo para su uso futuro.

Aunque la electricidad es un producto estandarizado, fluctúa la demanda en función de las horas del día, los días de la semana y las estaciones. Los distintos tipos de centrales nucleares usando combustibles diferentes (uranio, carbón, hidrocarburos...) se pueden ver afectadas para el suministro de esta demanda, dependiendo del tiempo de utilización de la central. Es posible hacer una comparación útil de la competitividad de estos tipos de producción desde el punto de vista tanto de costes observados como de costes estimados, basados en los futuros equipos que serán puestos en servicio. En ambos casos se establecen las comparaciones en base a la producción de carga, o sea, para 6.600 horas por año y para equipos con una duración superior a los 30 años para las centrales de carbón y nucleares y a los 20 años para las centrales de gas. En cuanto a los tipos de descuento, las cifras normales que se barajan son del 5% y 8%.

Sin embargo, una diferencia fundamental reside en los dos tipos de comparaciones a que nos hemos referido. En el estudio de los costes observados (1) se incluyen los impuestos, mientras que el estudio de costes estimados (2) no tiene en cuenta ninguna tributación o impuesto no recuperable.

El coste de producción del kilovatio-hora de electricidad generada por combustión térmica, independientemente del tipo de central que se considere, es el resultado de la suma de los costes de inversión, de explotación (incluyendo mantenimiento) y de combustible.

COSTES DE INVERSION

Los costes de inversión comprenden todos los gastos realizados en la construcción de una central. Se debe distinguir entre los siguientes:

- Costes directos relacionados con los trabajos de ingeniería civil, materiales, acondicionamiento del emplazamiento y puesta en servicio de la instalación.
- Costes indirectos, que cubren los gastos derivados de la realización y desarrollo del producto desde la fase de diseño hasta la puesta en servicio. Entre ellos se encuentran los estudios generales, la gestión de contratos y trabajos, los seguros e indemnizaciones, así como los cargos internos y externos específicos pagados por la autoridad de aceptación.

También se incluye en los costes de inversión el precio del dinero prestado para financiar el proyecto. Los costes de inversión se distribuyen por el tiempo, lo que conduce al cálculo de un coste medio descontado que indica el precio al que es necesario vender el kilovatio-hora para poder conseguir un equilibrio general entre los ingresos y gastos durante toda la vida útil de la central.

En este sentido, los retrasos en la realización de las centrales nucleares, a veces debidos a razones no técnicas, inciden en los costes de inversión a través de los intereses devengados sobre el dinero prestado. Los proyectos cancelados y los no puestos en servicio (de nuevo por razones técnicas) introducen sanciones rigurosas para el explotador, haciendo más caro el kilovatio-hora.

La proporción entre los costes de inversión y el coste de un kilovatio-hora de generación nuclear es un factor principal, siendo muy superior a la de otros tipos de generación de energía eléctrica. Esto se debe a que la seguridad de una instalación nuclear necesita tener una calidad más alta en términos de la construcción, lo que repercute en los costes de diseño y de los trabajos de ingeniería civil. Además, en los gastos de inversión se incluye una provisión para la sustitución de elementos importantes dentro de una instalación de generación de energía (por ejemplo, los generadores de vapor en una central nuclear de agua a presión) (1), provisión que no está contabilizada dentro de los costes de operación o desmantelamiento de la instalación.

Estos últimos, evaluados en base a las prácticas de varios países (Francia, Estados Unidos, Japón, Alemania), ascienden al 15% de los costes de inversión de la central, lo que supone menos del 5% del coste del kWh.

En el estudio reciente de UNPEDE, basado en los costes estimados para 14 países (Austria, Bélgica, Canadá, España, Francia, Italia, Japón, Noruega, Holanda, Portugal, la República Federal de Alemania, el Reino Unido, Suecia y Suiza), se ponen de manifiesto los costes de inversión presentados en la tabla I.

Estos valores son promedios que no sacan a la luz una amplia dispersión de los resultados entre los distintos países con-

TI
COSTES DE INVERSIÓN TOTALES
(Costes estimados)

ECU/kW	Coste base total	Interés durante la construcción (5%)	Desmantelamiento Descontado (5%)	Inversión de capital total
Nuclear	1.731	348	38	2.117
Carbón	1.274	148	4	1.426
Gas natural	632	62	1	695

Fuente UNPEDE: Promedio de costes de inversión actualizados (datos 1990).

siderados, dispersión que, según los países (Fig. I), podría explicarse por lo siguiente:

- Factores económicos: el tipo de cambio del ECU introduce un elemento de distorsión en este tipo de comparación. Es obvio, por ejemplo, que los costes japoneses son exagerados al expresarlos en ECUs (*).

- Factores relacionados con las condiciones de construcción de las centrales: la parte del programa cumplido en la actualidad, el nivel de estandarización de la central, la amortización de los costes de ingeniería por un número variable de unidades, si el propietario actúa o no de arquitecto-ingeniero.

- Factores varios, como el tamaño de las unidades, el uso conjunto de ciertos edificios situados en los emplazamientos con varias unidades, el tipo de enfriamiento utilizado, etc.

(*) Esto se debe a que el yen estuvo supervaluado durante varios años frente a las Monedas Europeas, si se toma como referencia la evaluación de las paridades de poder adquisitivo.

Todo lo anterior puede ocasionar una reducción considerable en los costes de inversión.

En Francia se ha evaluado el peso de estos factores en un 35% del coste total de la central (en el caso de 4 unidades idénticas en la misma central).

COSTES DE EXPLOTACION

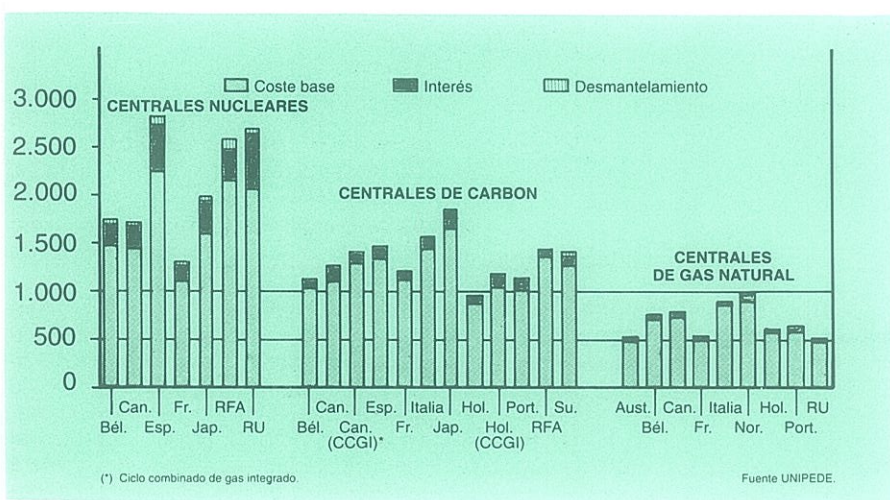
Los costes de explotación comprenden el precio de la mano de obra y los gastos relacionados con materiales o equipos (con la excepción de equipos básicos) necesarios para la operación de la central. También se incluyen los costes vinculados al mantenimiento de la instalación, especialmente los trabajos de mantenimiento para los que se solicitan servicios contratados. En términos generales, el desembolso de costes corrientes es casi el mismo en una central de combustible fósil que en una nuclear, y probablemente van a aumentar. En cuanto a las centrales de combustibles fósiles, la aplicación de reglamentos contra la contaminación (desulfuración y desnitrificación) probablemente producirán una subida de los costes de explotación. Para las centrales nucleares también es probable que el perfeccionamiento de las medidas de seguridad ocasione una subida de los gastos.

COMBUSTIBLE

El coste del combustible es probablemente el elemento de referencia que más fluctúe. Se han formulado hipótesis para la evolución de los precios de combustibles en los próximos 40 años (ver las figuras IIIa, IIIb, IIIc y IIId).

Además, en el coste del combustible es necesario incorporar el transporte y las subidas y bajadas de los tipos de cambio.

Para el combustible nuclear se tienen en cuenta el ciclo final y el almacenamiento de residuos, y son necesarios métodos de descuento para la evaluación del coste exacto, puesto que el ciclo de combustible se extiende durante 6 años. En Francia, Cogema ha evaluado un



coste de retratamiento de entre un 1,1 a 1,3 cF 88/kWh, siendo el coste total del ciclo de combustible nuclear entre un 4,1 a 4,9 cF 88/kWh.

En Francia, el reciclado de combustibles nucleares usados permite ahorrar en las adquisiciones nacionales de uranio.

Por ejemplo, entre los años 1995 y 2000, EDF prevé la carga de conjuntos de combustible MOx en 16 a 22 unidades PWR estandarizadas de 900 MWe, donde constituirán el 30% del núcleo total.

El ahorro anual para 20 reactores conseguido con el uso de combustible MOx será del orden de 1.200 t de uranio natural, comparando esta cifra con las 8.000 t de adquisiciones anuales de uranio necesarias en la industria nuclear francesa.

También se ahorran cada año 575 t de flúor y 860.000 SWUs.

COSTE TOTAL DE LA ENERGIA

Los costes que resultan de los estudios estimados (1) y los observados (2) son muy similares y demuestran la competitividad de la energía nuclear (Tablas II y III).

Las dos características principales de la energía nuclear son (vean la Tabla IV).

- El peso considerable de los gastos de inversión.
- El poco peso del combustible (al menos un 50% menos aproximadamente).

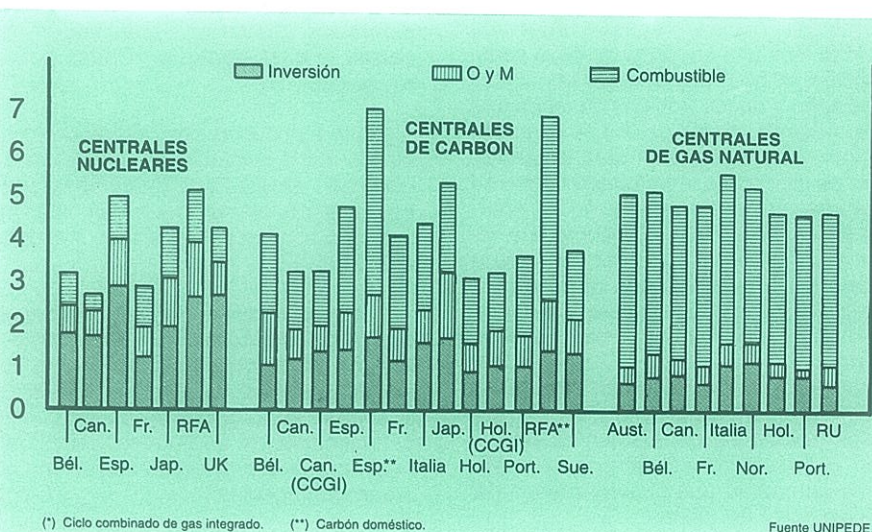
T II

COSTE TOTAL DE ENERGIA (Costes estimados)

0,01 ECU/kW	Capital	%	Operación	%	Combustible	%	Coste total	%
Nuclear	2,07	55	0,81	22	0,85	23	3,73	100
Carbón*	1,36	35	0,72	19	1,76	46	3,84	100
Gas natural	0,84	18	0,33	17	3,55	75	4,72	100

(*) Salvo el carbón doméstico español y alemán.

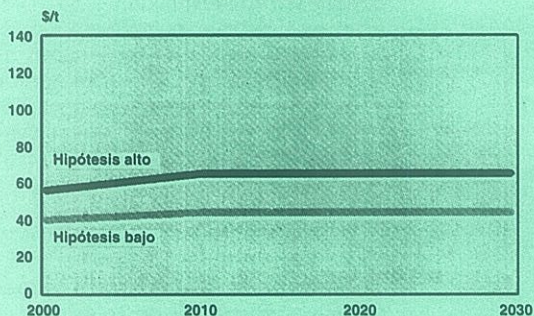
Fuente UNIPEDE: Promedio de costes actualizados (datos 1990).



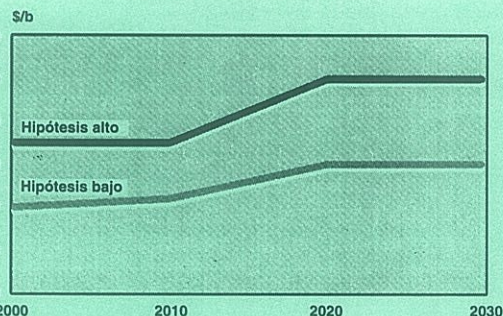
F II Coste de generación

F IIIa, IIIb, IIIc y IIId

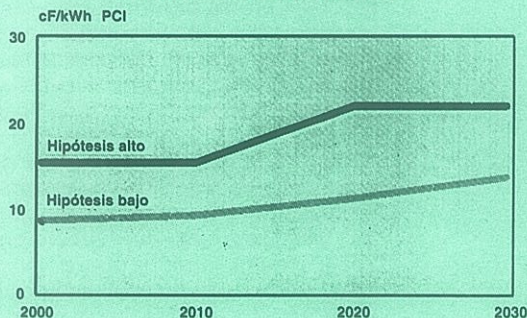
PRECIOS DE CARBON



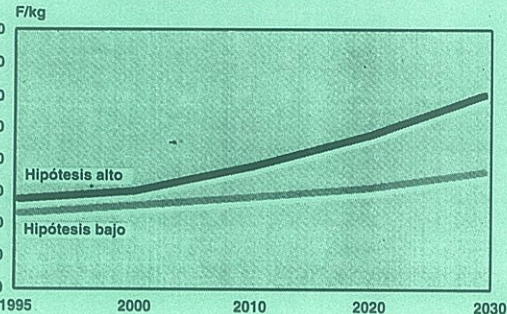
PRECIOS DE PETROLEO



PRECIOS DE GAS NATURAL



PRECIOS DE URANIO NATURAL



En la figura II, en los costes de producción de cada país, resalta la dispersión de los costes nacionales, y en particular los costes franceses tan competitivos. En los últimos costes de kWh calculados por las autoridades francesas, se destacan las siguientes cifras (Tabla V). En la actualidad sólo el carbón puede compararse con los combustibles nucle-

ares bajo condiciones de generación comparables. Los otros combustibles fósiles (petróleo o gas) ya no se usan, salvo en casos muy excepcionales (por ejemplo, por los países productores de gas o petróleo) para la producción básica. Sin embargo, esto puede cambiar en la presente década con la emergencia de ciclos combinados de gas (1).

Sin embargo, en cuanto al carbón, se debe distinguir entre el carbón de producción nacional, cuyo precio puede ser muy variable debido a factores económicos y cualitativos, y el carbón de importación, cuyo precio es menos variable de un país a otro, pero que depende también de la calidad, medio de transporte, costes de almacenamiento y gestión de subproductos, que pueden ser vendidos y así reducir los costes.

En cuanto al carbón, la protección del medioambiente supondrá la aplicación de reglamentos cada vez más rigurosos, especialmente en lo que se refiere a las emisiones de CO₂ y NO_x, lo que hará necesaria la adición de sistemas de descontaminación, encareciendo el precio de este combustible para la generación de electricidad. También se están considerando nuevos impuestos.

Otra característica importante del combustible nuclear es su contribución a la protección medioambiental que se deriva de la reducción de emisiones atmosféricas de CO₂. En la Comunidad Europea se ha estimado que la generación de energía nuclear ha reducido las emisiones de CO₂ en las dos terceras partes. Por lo tanto, las centrales nucleares actuales reducen los gases de CO₂ en 700 millones de toneladas por año en Europa (Tabla VI).

Si se redujera progresivamente la energía nuclear en Europa hasta el año 2010, habría que aumentar drásticamente el número de centrales térmicas de carbón y gas. Según los cálculos de ENS, esto supondría un aumento de la producción de CO₂ por el conjunto del sector eléctrico europeo desde los 2.200 millones de toneladas actuales hasta 5.250 millones de toneladas por año, un aumento de aproximadamente dos veces y media.

En cambio, si en Europa se duplicara la capacidad de generación nuclear durante los próximos 20 años, para el año 2010 se podría reducir la emisión de CO₂ producida por el sector eléctrico europeo (incluyendo las regiones asiáticas de la antigua URSS) al 55% de los niveles actuales, desde 2.200 millones de toneladas hasta 1.420 millones.

En Francia se han estimado las reducciones en las emisiones de gas a la atmósfera correspondientes a la generación nuclear (vean la Tabla VII: reducción estimada de emisiones a la atmósfera correspondientes a la generación nuclear en Francia, y la Tabla VIII: reducción estimada de emisiones de gas en Francia correspondiente a la generación nuclear).

Estos logros en Francia se deben principalmente a las siguientes razones:

- La energía nuclear ha sustituido al carbón o fuel-oil para la generación de electricidad.
- La competitividad nuclear ha contribuido al aumento de la electricidad en el

T III

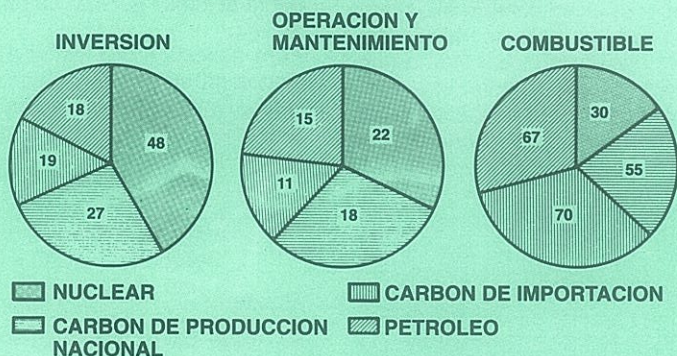
COSTE TOTAL DE ENERGIA (Costes observados)

Técnicas de generación \ Costes	Inversión en cEcu/kWh	Operación y mantenimiento en cEcu/kWh	Combustible en cEcu/kWh	Total en cEcu/kWh
Nuclear	1,50	0,68	0,90	3,11
Carbón de importación	0,83	0,54	1,68	3,05
Carbón de producción nacional	1,00	0,56	3,66	5,22
Petróleo	0,63	0,52	2,36	3,51

Fuente OPEN: Promedio de costes observados (datos 1987).

T IV

PESO DE LOS COSTES CONSTITUYENTES DE UN kWh (Por tipo de producción de energía)



Fuente OPEN: Peso medio de costes observados (datos 1987).

T V

COSTE TOTAL DE UN kWh DE CARGA BASE EN CENTIMOS FRANCES/kWh (Fuente: DIGEC - Edición 90)

Fuentes de energía	Coste en céntimos franceses	Costes actualizados en céntimos franceses (1991)
Nuclear	21-22	24-25
Carbón	27-32	30-35
Gas natural de ciclo combinado	28-43	31-47

T VI

EMISIONES DE CO₂ PARA TODA EUROPA DEL SECTOR DE ELECTRICIDAD EN MILLONES DE TONELADAS POR AÑO

Escenario	1988	2000	2010
Actual	1.100	—	—
Sin nuclear	2.900	4.100	5.250
Planes oficiales	—	3.000	3.240
Duplicando la capacidad de generación nuclear	—	—	1.420

consumo energético final, cuyo volumen ha pasado del 27% al 38% durante los últimos diez años.

— Cuando Francia estaba desarrollando un importante programa nuclear, la parte del consumo energético correspondiente al transporte aumentó de modo significativo, lo que explica la reducción menos importante de las emisiones de NO_x y CO₂ indicadas en la tabla VIII.

Además, mientras que el almacenamiento seguro de los materiales radiactivos está garantizado y tenido en cuenta en el coste total de un kWh nuclear, no se puede decir lo mismo de las centrales térmicas de combustibles fósiles.

De hecho, las centrales nucleares generan una cantidad de energía considerable de una cantidad de uranio muy pequeña y las cantidades de residuos radiactivos producidos son pequeñas. Por ejemplo, en una central de 1.000 MW generando electricidad para un pueblo de 700.000 habitantes se producen:

- De 2 a 3 m² de residuos radiactivos de alto nivel.
- 10 m² de residuos radiactivos de mediano nivel.
- 40 m² de residuos radiactivos de bajo nivel.

Una central de carbón, bajo las mismas condiciones, emitirá cada año 200.000 m³ de ceniza y escoria, sin tener en cuenta las cenizas filtradas contenidas en los humos.

Además, la eliminación de residuos nucleares mediante el método CC (Concentración + Confinamiento) es más segura para el medio ambiente que el método DD (Dilución + Dispersión) utilizado en muchas industrias.

Desde un punto de vista económico en general cabe hacerse otros dos comentarios:

— La sustitución de hidrocarburos por la energía nuclear en la generación de electricidad conduce a una economía importante en divisas, a la vez que garantiza la seguridad del suministro. Por ejemplo, en 1991 el programa nuclear francés originó un ahorro de 73 millones de toneladas de carbón y a un balance positivo de divisas de 32 billones de FF.

— En los países desarrollados, donde los recursos fósiles están limitados o no existen, pero donde se pueden implantar tecnologías avanzadas, la energía nuclear permite invertir un valor añadido en el territorio nacional, sustituyendo los costes de combustible por costes de inversión.

Además de la competitividad económica de la energía nuclear, cabe destacar que el combustible es el elemento en que se centra la incertidumbre económica y geopolítica. La baja aportación del combustible nuclear al coste total de un kilovatio-hora es, por lo tanto, otra ventaja nada despreciable respecto a las próximas decisiones sobre planificación energética.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) Informe del grupo de trabajo "Ventajas económicas de la energía nuclear" (costes observados). Organisation des producteurs d'énergie nucléaire (OPEN - Organización de Productores de Energía Nuclear) Enero 1991.
- (2) Informe sobre el coste de generación de electricidad. Evaluación realizada en 1990 para centrales a poner en servicio en el año 2000. Unión Internacional de Productores y Distribuidores de Energía Eléctrica, Congreso Copenhague, 9-14 junio 1991.

APENDICE

Costes de generación de electricidad

Resumen de los métodos de cálculo usados por UNIPED

Todos los gastos están expresados en dinero constante descontado hasta la fecha de puesta en servicio de la central. Los cambios de precios se ajustan a los precios constantes de dinero para tener en cuenta las variaciones de precios frente al índice general de precios de minorista.

Para simplificar los cálculos, todos los gastos en un año de calendario se consideran incurridos a mitad del año.

Expresión del coste medio descontado:

$$C = \frac{\text{suma del gasto anual descontado}}{\text{suma de la generación anual descontada} = D/Q = D/P \cdot U}$$

Donde:

- C es el coste medio descontado por kWh.
- Q es la suma descontada de la generación anual.
- D es la suma descontada del gasto anual.
- U es la suma descontada de las horas de operación anuales.
- P es la capacidad neta continua de los equipos, que se supone constante en el tiempo (haciendo caso omiso del efecto del envejecimiento).
- I es la inversión de capital, incluyendo interés capitalizado durante la construcción (en dinero constante) hasta la fecha de puesta en servicio de la central.
- d es la vida de la central en años.
- et son los costes fijos de explotación para el año t (excepto combustible).
- ct es el coste de combustible por kWh producido en el año t.
- ut las horas equivalentes de operación a plena carga para el año t.
- qt es la energía generada en el año t ($q_t = P \cdot u_t$).
- a es el tipo de descuento en dinero constante.

T VII

REDUCCIONES EN EMISIONES DE GAS EN FRANCIA

	Reducciones anuales estimadas de emisiones de gas en toneladas	Reducciones de emisiones acumuladas desde 1980 en toneladas
Polvo	50.000	400.000
NO _x	700.000	6.000.000
SO ₂	2.300.000	17.000.000
CO ₂	280.000.000	2.000.000.000

Fuente UNIPED: Promedio de costes estimados (datos 1990).

T VIII

REDUCCIONES EN EMISIONES DE GAS RELACIONADAS CON LA EMISION DE GAS GLOBAL EN FRANCIA

	Emisiones de gas anuales estimadas en Francia en toneladas (1)	Emisiones anuales por personas	Emisiones anuales estimadas de Francia sin generación de energía nuclear (*) en toneladas (3)	(1) - (3) (3) %
SO ₂ (1987)	1.520.000	27 kg	3.820.000	-60%
NO _x (1985)	1.700.000	30,5 kg	2.400.000	-29%
CO ₂ (1987)	129.000.000 de carbón	1,85 Tn de carbón	205.000.000 de carbón	-37%

(*) Añadiendo cifras dadas en el tabla V a (1).

(**) Fuente: OCDE.