



# Reactores de potencia de interés para los países en desarrollo

*El aumento de los precios del petróleo ha acrecentado aún más el interés de los países en desarrollo por la energía nucleoelectrica. El estudio actualizado del mercado, efectuado por el OIEA, abarca 55 países en desarrollo y muestra que, hasta fines de los años ochenta, podría existir en ellos en mercado de 150 000 a 200 000 MW(e) de potencia nuclear. Aproximadamente el 20% de esta potencia se refiere a centrales de 500 MW(e) o menores. En la reunión se describieron con detalle varios modelos de centrales pequeñas y se discutió su interés práctico. También se examinaron otros problemas como el financiamiento, la contratación y la capacitación de personal. Se formularon recomendaciones acerca de lo que debe hacer el Organismo para facilitar la expansión de la energía nucleoelectrica en los países en desarrollo. Aunque no se sabe en qué plazos concretos, ahora parece darse por supuesto que la electricidad de origen nuclear ocupará un lugar cada vez más importante en la producción eléctrica de los países en desarrollo.*

## El mercado potencial y la necesidad de SMPR\*

En 1974, el Organismo actualizó su estudio del mercado y lo extendió a otros países en desarrollo. Los datos más recientes, expuestos en el **Cuadro 1**, muestran el enorme crecimiento del mercado de centrales pequeñas en comparación con los resultados del estudio realizado en 1973. Como indica el cuadro, del total de 220 000 MW(e), aproximadamente el 20%, es decir 45 000 MW(e), correspondería a centrales de unos 500 MW(e) o menos, siendo la mayoría de ellas del orden de los 150 a 200 MW(e) [unas 60] o de los 400 MW(e) [unas 45].

### CUADRO 1:

**Mercado de centrales nucleares en 55 países en desarrollo, según la potencia de las unidades (1981-1990)**

Potencia (MWe)	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	Total
Número de unidades	34	29	13	18	46	14	72	43	42	38	7	356
Potencia total (GWe)	5,1	5,8	3,3	5,4	18,4	7,0	43,2	34,4	42,0	45,6	10,5	220,7

Es preciso recalcar que el estudio del mercado no puede considerarse como una previsión en firme de la potencia nucleoelectrica instalada concretamente en cualquiera de los países estudiados. Las razones de ésto son varias:

- La subida de los precios del petróleo ha introducido una discontinuidad en el crecimiento de la demanda de energía en muchos países. El menor crecimiento de esa demanda, o incluso la disminución del consumo de energía, puede ser transitorio, pero es sumamente difícil prever cuáles serán las nuevas tasas de crecimiento cuando se estabilice de nuevo la situación. Es probable que sean inferiores a los ritmos de crecimiento anteriores.

\* Reactores de pequeña y mediana potencia.

- b) Si bien es evidente que, en la mayoría de los países incluidos en el estudio del mercado, como alternativa a las centrales alimentadas con petróleo se consideran tanto las hidráulicas como las nucleares, se carece de datos para una estimación detallada del potencial hidroeléctrico de cada país. Es posible que en varios casos existan ahora proyectos hidroeléctricos que producirían electricidad más barata que las centrales nucleares. El método analítico seguido en el estudio del mercado no es suficientemente exacto para cada uno de los países si se considera la producción hidroeléctrica y, por tanto, son necesarios estudios más detallados en cada caso particular.
- c) La disponibilidad de fondos para las centrales será un factor decisivo en los programas de expansión, y no está nada claro si se dispondrá de fondos suficientes, o en qué condiciones. Como las centrales de combustible fósil requieren una inversión inicial menor que las nucleares, es posible que se opte por ellas a pesar de ser, a la larga, menos económicas.
- d) Las reglas básicas y los parámetros empleados en el estudio del mercado, especialmente los gastos de instalación supuestos, quizá no sean realistas, pero no hay que olvidar que poseemos muy poca o ninguna experiencia práctica en que basar mejores previsiones.
- e) Si bien en centrales grandes [de 600 MW(e) y mayores] pueden adquirirse fácilmente, es muy incierta la disponibilidad de centrales de menor potencia.

### Disponibilidad de los SMPR

Si virtualmente todos los Estados que construyen reactores, a saber, Alemania (Rep. Fed. de), Canadá, Estados Unidos, Francia, Japón, Reino Unido, Suecia y la Unión Soviética poseen unidades que funcionan en el intervalo de potencia de los SMPR, la mayoría de los fabricantes, por razones de orden económico, han estandarizado su producción para unidades de 600 MW(e) o mayores. En Suecia se han efectuado estudios preliminares sobre unidades pequeñas subterráneas, mientras que la Unión Soviética ha puesto en servicio recientemente unidades de 24 MW(e) en Bilibinsk, en el Estrecho de Bering.

Para potencias del orden de 300 MW(e) se han propuesto reactores de agua pesada de los tipos CANDU o SGHWR (fabricados, respectivamente, por la AECL de Canadá y el Nuclear Power Group del Reino Unido). Estas centrales podrían fabricarse bien como versión reducida de las unidades de 500 MW(e) (Pickering CANDU) o como versión aumentada de las unidades de 100 MW(e) (Winfrith Heath SGHWR) actualmente en funcionamiento. El programa británico ha optado por la central SGHWR de 600 MW(e), de forma que la versión aumentada hasta esta potencia será una realidad. En el caso de estos dos reactores apenas existe en el respectivo país interés alguno por los SMPR. Por tanto, para que se iniciase la realización de estos reactores, sería necesario que varios compradores en potencia se agrupasen o hiciesen las gestiones oportunas.

Tanto las centrales CANDU como SGHWR son fundamentalmente de concepción modular, lo que debe tenerse en cuenta al evaluar los problemas de la variación de dimensiones. El modelo SGHWR permite alcanzar potencias de hasta 1300 MW(e) aumentando el número de grupos de canales idénticos, utilizando los mismos parámetros de funcionamiento que la central de Winfrith. Otros componentes como los colectores de vapor, las bombas y las válvulas no requieren características especiales ni modificaciones con respecto a los tipos de fabricación ya bien experimentada.

Otro tipo de reactor propuesto en la reunión del Grupo para las centrales de pequeña y mediana potencia fue el de agua ligera a presión. En general, estos modelos se basan en la experiencia relativa a la propulsión de buques. El modelo de Interatom (Rep. Fed. de Alemania) es un PWR integrado para potencias de 35 a 310 MW(e) basado en el reactor del buque Otto Hahn; sus características se indican en el **Cuadro 2**. Se ha presentado a las

autoridades nacionales competentes un estudio inicial de seguridad sobre un reactor naval de este tipo, que correspondería a una central de 220 MW(e), y se espera para 1975 un certificado de la seguridad de este modelo. La **Figura 1** es una fotografía del generador de vapor del buque nuclear Otto Hahn, cuyas componentes son similares a los del modelo para usos terrestres.

El **Cuadro 3** algunos datos técnicos presentados al Grupo de expertos, referentes al modelo PWR de Technicatome (Francia), basado también en la experiencia adquirida con unidades de propulsión naval. La gama de potencias va de 35 a 95 MW(e), más una unidad de 340 MW(e). La **Figura 2** muestra el circuito primario de esta última unidad. Estas unidades representan otros tantos estudios de un proyecto en fase avanzada para el que se han hecho cálculos detallados de costos que se consideran prometedores.

Es posible que en el futuro se instale en Polinesia una central de 35 MW(e). En el marco de estos estudios se han investigado también diversas aplicaciones directas del calor, y es posible que se construyan las primeras plantas de este tipo para la utilización de calor con fines industriales en Francia.

**CUADRO 2: Datos técnicos del PWR integrado de Interatom**

Producción eléctrica, MW(e)	35	58	89	120	182	245	310
Necesidades de energía eléctrica in situ, MW(e)	2	3,5	5,5	7	11	14,5	18,5
Producción eléctrica bruta, MW(e)	37	61,5	94,5	127	193	259,5	328,5
Potencia térmica, MW(t)	120	200	300	400	600	800	1000
Densidad de potencia en el reactor, MW(t)/m <sup>3</sup>	←—————→			70	—————→		
Número de elementos combustibles	32	45	57	69	89	101	121
Configuración de las barras de combustible,	←—————→			15 X 15	—————→		
Diámetro exterior de las barras de combustible, mm	←—————→			10,75	—————→		
Presión del sistema primario, kg/cm <sup>2</sup>	←—————→			98,4	—————→		
Vapor generado, kg/s	62	103	155	206	309	412	515
Presión del vapor, kg/cm <sup>2</sup>	←—————→			48	—————→		
Temperatura del vapor, °C	←—————→			270	—————→		

**CUADRO 3: Datos técnicos del PWR de Technicatome**

Producción eléctrica neta, MW(e)	35	60	95	340
Potencia térmica, MW(t)	135	220	330	1100
Número de elementos combustibles	56	72	112	112
Enriquecimiento del combustible, <sup>235</sup> U en peso	5	5	5	3,5
Número de barras de control	12	16	20	33
Presión del sistema primario, kg/cm <sup>2</sup>	143	143	143	160
Presión del vapor, kg/cm <sup>2</sup>	48	48	48	59
Temperatura del vapor, °C	261	261	254	298
Número de circuitos	1	2	3	2

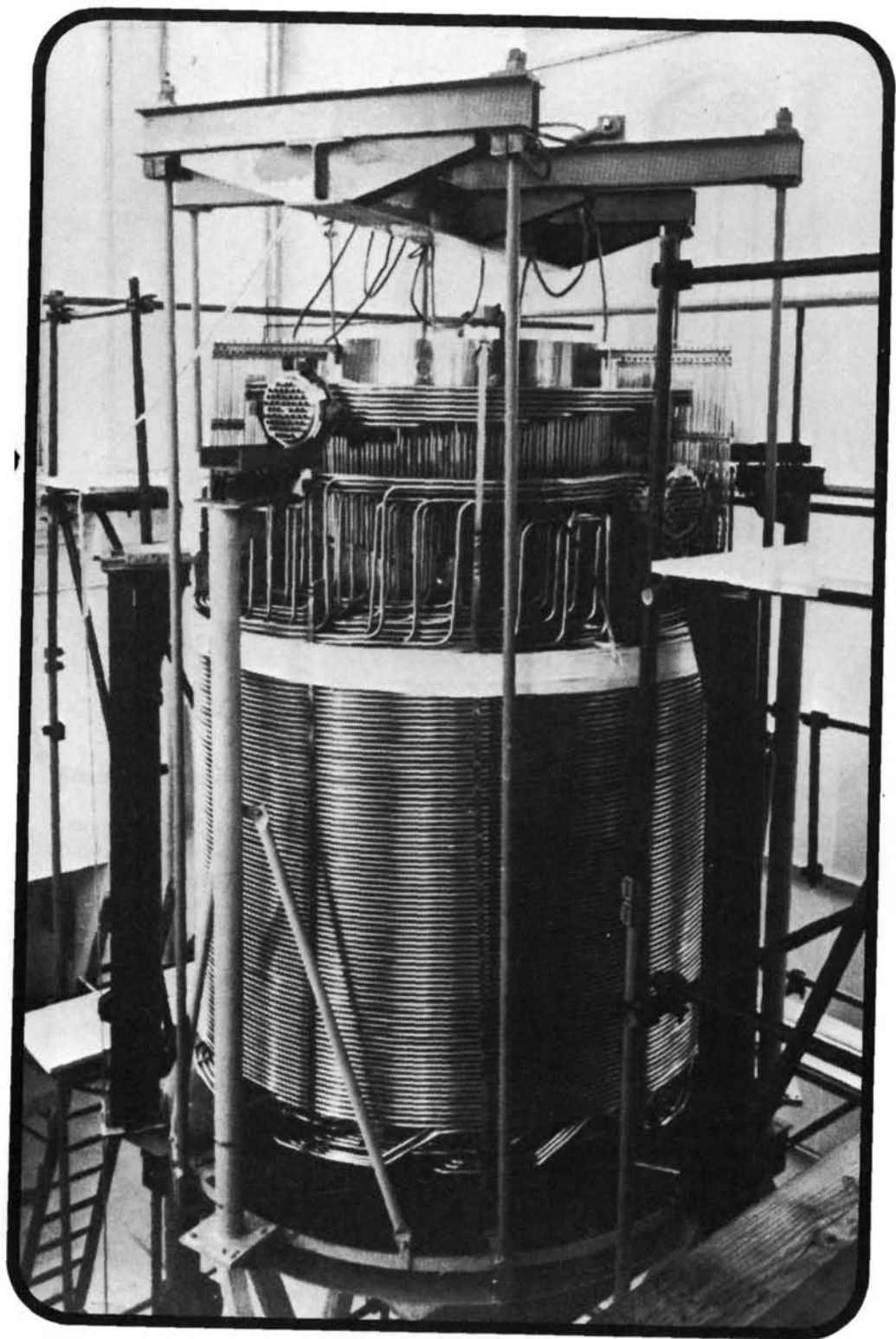


Fig. 1. Generador de vapor del buque nuclear Otto Hahn. Foto: Interatom

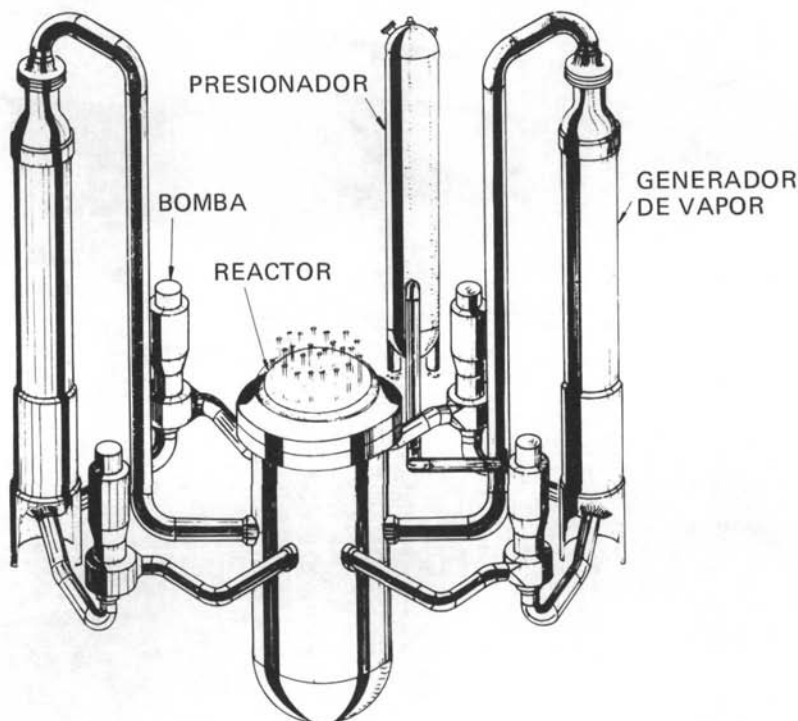


Fig. 2. Circuito primario de la unidad de 340 MW(e) de Technicatome  
Dibujo: Technicatome

Otra unidad integrada tipo PWR, que se examinó en la reunión de expertos, está siendo estudiada por Babcock y Wilcox (Estados Unidos) para propulsión de buques. Esta unidad podría producir más de 90 MW(e) en su versión para usos terrestres (Figura 3). Se ha presentado a las autoridades reglamentadoras de los Estados Unidos un estudio inicial de seguridad pero todavía no han terminado las diligencias para la concesión de la licencia. Es posible que la primera unidad comercial empiece a funcionar en un buque a comienzos de los años ochenta. Aunque es más difícil proyectar un reactor naval que un reactor terrestre, la transformación en una instalación para uso terrestre requerirá considerable y costosa labor de ingeniería. Así, es posible que este tipo de planta se ofrezca algún día en versión para uso terrestre, pero pasarán muchos años hasta que ello sea una realidad.

#### Tipos de contrato y financiamiento

Como es de esperar, los tipos de contrato posibles varían mucho de unos fabricantes a otros yendo desde el contrato permanente de llave en mano para toda la central suministrada por el vendedor del reactor, hasta el contrato por separado para la caldera nuclear, la turbina y el resto de la central. Algunas instituciones financieras han indicado preferencia por los contratos de tipo global de esta clase, que aseguran la competencia entre los proveedores de los diversos sistemas de la central. En un contrato de este tipo, la realización de la caldera (o el conjunto) nuclear suele confiarse a una empresa de ingeniería y construcciones que asume la responsabilidad general del proyecto.

- 1 ENTRADA Y SALIDA DEL SISTEMA DE CIRCULACION
- 2 GRUA DE 75 t
- 3 ALMACEN DE CABEZAL DE LA VASIJA
- 4 TANQUE DE MANIPULACION DEL COMBUSTIBLE Y ALMACEN DE PIEZAS INTERNAS
- 5 GRUA DE 125 t
- 6 ALMACEN DE COMBUSTIBLE AGOTADO
- 7 FOSO PARA EL TRANSPORTE DEL COMBUSTIBLE AGOTADO
- 8 ALMACEN DE COMBUSTIBLE NUEVO
- 9 EDIFICIO DEL REACTOR
- 10 ESCLUSA NEUMATICA
- 11 DESMINERALIZADOR
- 12 TANQUE DE RELAJACION DE LA PRESION

- 13 TURBOGENERADOR DE 90 MW(e)
- 14 REACTOR
- 15 CONTENCIÓN PRIMARIA
- 16 SALA DE CONTROL
- 17 SERVICIOS DE MANTENIMIENTO

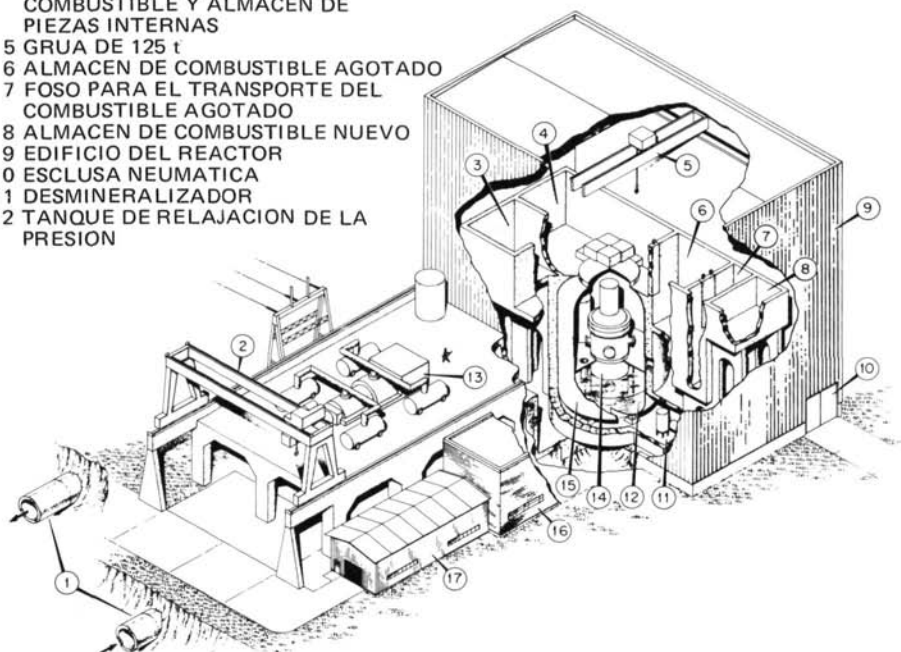


Fig. 3. Caldera nuclear de 313 MW(t), con turbogenerador de 90 MW(e)  
Dibujo: Holifield Nat. Lab.

Normalmente, las instituciones financieras requieren que las unidades potencialmente disponibles para su venta a los países en desarrollo puedan considerarse bien experimentadas y listas para obtener una licencia. El primero de estos criterios es muy difícil de aplicar en general, y tendría que ser juzgado en cada caso. Los esfuerzos que desarrolla el OIEA para elaborar un conjunto de criterios y normas de seguridad aceptables internacionalmente responderá a las necesidades previstas de los países en desarrollo en cuanto al segundo criterio. Una manera ideal de satisfacer ambos criterios es que en el país del fabricante funcione una unidad similar o central que sirva de referencia para la que se va a vender al país en desarrollo.

Otro aspecto importante es la magnitud de los medios financieros requeridos hasta 1990. Dicha magnitud calculada según las regiones a que pertenecen los 55 países en desarrollo abarcados por el estudio del mercado, es la siguiente:

Miles de millones de dólares\*

Europa, Oriente Medio y Africa	24,5
Asia y Lejano Oriente	35,3
Economías de planificación centralizada	13,9
América Central y del Sur	24,3
<b>Total</b>	<b>98,0</b>

\* Dólares de los Estados Unidos, valor constante de 1974.

Estas cifras astronómicas pudieran muy bien ser un límite para la expansión de la energía nucleoelectrica en esos países. Las perspectivas de conseguir fondos no son muy esperanzadoras, y es poco probable obtener las condiciones favorables concedidas en el pasado para algunos reactores nucleares.

En vista de estas dificultades financieras no parece muy probable que, en lugar de centrales pequeñas, se adquieran centrales de mayor potencia que la necesaria, que ya están en venta, y se hagan funcionar a potencia reducida. Esta forma de proceder podría resultar económica a largo plazo y permitiría adquirir inmediatamente reactores ya disponibles. Pero es poco probable que se acuda a ella porque agudizaría los problemas de financiamiento inicial. Además, una vez conectada a la red una central nuclear grande, se tendería a hacerla funcionar a plena potencia debido a sus reducidos gastos de explotación. Si la potencia de la central nuclear representa una parte importante de la total de la red, podría quedar gravemente reducida la fiabilidad del sistema.

### Planes del OIEA para el futuro

En vista de las recomendaciones formuladas por el Grupo de expertos reunido en noviembre de 1974, el Organismo va a reunir el 30 de junio de 1975 un grupo técnico integrado por expertos de los países que construyen reactores, para preparar un catálogo de las características que deben poseer los reactores de pequeña y mediana potencia. Este catálogo contendrá datos técnicos actualizados y, en la medida de lo posible, cálculos realistas de costos.

El catálogo podrá servir como base de nuevas discusiones a los Estados Miembros que preparen programas de energía nucleoelectrica. Durante la Conferencia General (septiembre de 1975) habrá oportunidad también para examinar la posibilidad sugerida por el Grupo de expertos con respecto a la acción concertada de varios compradores que se interesen por los SMPR.

Si los compradores se interesasen por unas seis o diez unidades esencialmente idénticas, ello haría que fuese mayor el número de modelos disponibles. Esta cooperación entre los compradores en potencia contribuiría también probablemente a mantener los gastos de inversión dentro de límites razonables.



### SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE LOS ADELANTOS EN DOSIMETRIA BIOMEDICA, VIENA, 10 A 14 de MARZO

Al Simposio asistieron 139 participantes de 31 países y cinco organizaciones internacionales, así como 15 observadores, y se presentaron 49 memorias en 10 sesiones.

## Dosimetría en ciencias biológicas

*Las aplicaciones de las radiaciones en medicina y biología han aumentado en extensión y diversidad, de forma que las ciencias radiológicas se han convertido en un factor importante para la investigación y el ejercicio de la medicina. La precisión con que se determine la dosis en todos los puntos interesantes del medio absorbente es de suma importancia para las aplicaciones y el desarrollo de los métodos biomédicos y radiológicos. Ello ha suscitado, como consecuencia de la eficacia de las investigaciones en radioterapia clínica, preocupación por la seguridad de los enfermos y la exactitud del diagnóstico radiológico, y ha dado origen a los ensayos e investigaciones clínicos sobre el empleo de radiaciones fuertemente ionizantes en biología y medicina.*