Prólogo

De nuevo la Real Academia de Farmacia saca a la luz una monografía sobre el tema "Salud, educación y energía: Recursos cualificados para el Siglo XXI", en colaboración con ENRESA y la Fundación «José Casares Gil» de Amigos de la Real Academia de Farmacia. Es para mi un honor, como Director de la Real Academia y como Presidente de la Fundación, el prologar esta obra que representa la puesta al día de unos temas que, en general, preocupan a la sociedad, y que han sido abordados por Académicos de la Institución, especialistas en los problemas estudiados y comentados en las distintas conferencias.

Está fuera de toda duda que las lecciones impartidas responden a temas que preocupan extraordinariamente en nuestros ámbitos científicos y sociales. La disponibilidad de recursos para la humanidad constituye un aspecto vital de nuestra existencia, con frecuencia enfocados a alcanzar nuestro principales objetivos. Pero, como subraya alguno de los conferenciantes, aspectos como la creatividad y la innovación se consideran de capital importancia para el desarrollo de la moderna tecnología. Precisamente, el desarrollo de los modernos avances tecnológicos es una consecuencia del apoyo a la creatividad científica y a las aplicaciones realizadas en ámbitos muy diversos de cara a una mejora del nivel de vida y del propio desarrollo económico y social.

Sólo me queda, como Director de la Corporación, agradecer al Coordinador y a cuantos Académicos y conferenciantes han colaborado en este Curso y han proporcionado escritas sus conferencias los esfuerzos realizados y el gran interés puesto en el desarrollo de sus objetivos.

JULIO R. VILLANUEVA

Presentación

SEGUNDO JIMÉNEZ GÓMEZ

Coordinador

La Sección Cuarta de esta Real Academia, denominada "Higiene y Sanidad" (nombre que quizá precise de alguna actualización), siempre preocupada por mantener sus actividades dentro de las líneas más vanguardistas y de mayor proyección social, con la aprobación de la Junta de Gobierno de la Corporación, desarrolló un Ciclo de Conferencias entre el 9 y 25 de mayo del 2000, sobre el tema **"Salud, educación y energía: Recursos cualificados para el siglo XXI",** para el que contó, además, con colaboración económica y científica de **Enresa**. La asistencia pública fue notable, lo que acredita la cualificación de los participantes, y la **Fundación "José Casares Gil" de Amigos de la Real Academia de Farmacia** ha tenido la gentileza de ofrecerse a patrocinar su publicación, lo que agradezco expresamente, pues es la única forma de que el esfuerzo realizado transcienda más allá del colectivo de oyentes que nos hicieron el honor de asistir.

En esta presentación quisiera justificar, brevemente, la alusión, quizá manida, al siglo XXI. Ni fue una concesión a la moda al uso, ni un recurso publicitario; ni tampoco nos pasó desapercibido lo que tiene de convencional la numeración de los años. La realidad es que el siglo XX, como la transición al XXI, han presentado unas singularidades, que nos sitúan ante un cambio histórico cuyas tres características específicas son: esplendor y globalidad en el conocimiento, masificación en la producción y amplia proyección social. La transición cronológica hacia el siglo XXI, está siendo también un periodo de cambio cultural, científico, tecnológico y social. La Ciencia ha irrumpido de manera estruendosa en el desarrollo técnico produciendo una floresta de conocimientos e inventos que han modificado las formas de comportamiento, los estilos de vida y las estructuras sociales. La Ciencia ha dejado de ser socialmente neutra, si es que alguna vez lo fue.

Por referirme al campo de la Química, para mí el más conocido, recuerden que el siglo XX se iniciaba con los reiterados esfuerzos para lograr una clasificación periódica de los elementos que racionalizara y explicara él por qué de sus propiedades, y le termina tras adquirir unas capacidades que le permite inventar a "petición del cliente", habiendo evolucionado hasta converger con la Biología Molecular. En paralelo, este principio del siglo XXI, precedido de una enorme proliferación de conocimientos biológicos, ha encontrado su primera gran culminación en la Ingeniería Genética, por supuesto, con el apoyo de una Informática, cuya apoteosis está por alcanzar, y de un desarrollo tecnológico, una de cuyas manifestaciones más notorias se ofrece en el ámbito de las comunicaciones y telecomunicaciones, con proyección evidente en la exploración del espacio.

El objeto de nuestro Ciclo se enmarca en el campo de la disponibilidad de recursos, de prospectiva obligada para percibir futuribles.

Los recursos están constituidos por todo el conjunto de bienes materiales e intelectuales de que dispone la humanidad para satisfacer sus necesidades, o simplemente para el logro de unos objetivos. Es, pues, un criterio economicista, utilitarista, basado en su valor en uso en el momento en que se considera. Hasta hace relativamente poco tiempo se objetivaban, casi en exclusiva, en lo material, sin olvidar que las ideas siempre tuvieron un valor reconocido. Pero hoy, el concepto de recurso se ha ampliado a todo lo que es creatividad e innovación, a lo que se conoce como tecnología, cuyo origen, aunque implícito en la Naturaleza, nace, se interpreta, motiva, estimula y promociona gracias a la inteligencia y a la capacidad de raciocinio del hombre.

El hombre, en sí mismo, es un recurso, aunque también sea demandante de ellos y, por tanto, lo es también todo lo que con él se relacione, aunque no se trate de recursos estrictamente materiales, como son la salud, la educación, o sus propias formas de comportamiento, incluidos los hábitos alimentarios.

La disponibilidad de recursos materiales ha sido siempre un elemento de poder, pero el desarrollo tecnológico desvió la atención específica de los recursos materiales hacia los intelectuales; se llegó a un momento en que, tanto económica como ecológicamente, era más atractivo tener

capacidad para manipular con originalidad los recursos que disponer de ellos. Hasta 1972 no se produjeron manifestaciones de cierta resonancia sobre el riesgo de su agotamiento. De un lado Indira Ghandi, en la Conferencia de Estocolmo, y de otro el Primer Informe al Club de Roma, presentaron con tintes casi dramáticos el problema de su agotamiento. Sin embargo, un nuevo triunfo de la tecnología, al aflorar nuevos recursos, mejorar los rendimientos de los procesos productivos y abaratar el transporte, permitió disipar la alarma de la escasez.

Pero allí quedó la simiente del problema, que rebrota con fuerza a partir de las advertencias hechas por la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo de las Naciones Unidas en 1987, en el Informe **"Nuestro Futuro Común",** en el que se destacaba la necesidad "de tomar decisiones para asegurar los recursos que permitan sustentar a las presentes y futuras generaciones", advertencia que recibió poco después el decidido y definitivo apoyo de la UE en su Quinto Programa de Acción Medioambiental, proclamando que "los recursos naturales son el punto de partida de nuestro sistema socio-económico, por lo que su conservación es imprescindible y previa a cualquier desarrollo".

Sin embargo, y como es lógico, el acento en *lo natural* no excluía lo intelectual, por lo que nuestra aportación al tema había de hacerse dentro del ámbito de nuestras dedicaciones, es decir, de la salud, tanto en lo que se refiere a su conservación como a su recuperación cuando se pierde, aunque sin perder de vista cuestiones más generales, como la energía, que es el factor mas condicionante en todo tipo de progreso, o la educación, en la medida en que ésta es una expresión del comportamiento. Además, hoy, la educación está más vinculada que nunca con la salud, en cuánto supera lo que es acceso al conocimiento y la cultura, para integrar en su seno el amplio campo de la educación ambiental, que comprende las relaciones del hombre con el medio físico y la conservación de la Naturaleza.

No voy a resumirles el contenido de las diferentes intervenciones, pero sería una desatención de mi parte no hacer una mínima glosa de ellas.

Comenzó Domínguez Carmona hablando de "La salud en el Estado de Bienestar", señalando, con su acreditada agudeza, que no se debe de confundir con el bienestar del Estado. Tras definir éste como institución

integradora y protectora de los individuos, justificó su intervención en la promoción de la salud como parte de su misión protectora de los Derechos Humanos y como perfeccionamiento del derecho a la vida y a la integridad física y psíquica.

Las intervenciones siguientes fueron típicamente farmacéuticas, en consonancia con la Real Academia en que se celebraban. En la primera de ellas, "Desarrollo de fármacos selectivos", Ortega Mata, parte de los contenidos de la Farmacogenómica, aludiendo a la influencia de las características genéticas individuales sobre las respuestas de los organismos a los medicamentos. Se centra en el papel del polimorfismo genético, de manera especial el que responde a variaciones de un simple nucleótido, que condicionará los procesos metabólicos de los medicamentos en nuestro organismo en virtud del polimorfismo de los enzimas metabolizadores; polimorfismo que no sólo afecta al proceso de transporte de los medicamentos, sino también a su unión a los receptores. Como ilustración de las consecuencias de estos procesos, se describen numerosos ejemplos, especialmente referidos, dada su trascendencia, a las reacciones adversas los medicamentos, cuyo mecanismo se explica por las características genéticas individuales.

Dado que en el momento actual se dispone de técnicas analíticas, que también se describen en el texto, para el genotipado individual se piensa que no está lejos el momento en que tras la realización de lo que empieza a denominarse "genostico" puedan los pacientes recibir terapias individualizadas de eficacia probada y carentes de cualquier riesgo imprevisto.

De no menor interés fue la segunda, en la que Cabezas Fernández del Campo nos introduce en el tema: "La Glicobiología: un camino para producir fármacos", un campo que se caracteriza por la dificultad para su estudio, y en el que demuestra que no en vano es un auténtico especialista en todo lo relacionado con los glicoconjugados, moléculas que, como las lectinas tanto de origen vegetal como animal, se caracterizan por su gran selectividad para su enlace a moléculas diferentes en membranas celulares. De ahí su aplicación en el campo de la cancerología, no sólo con fines de diagnóstico, sino también para el tratamiento, al servir como vectores selectivos tras su unión a compuestos anticancerígenos.

Las dos conferencias siguientes, complementando las anteriores, abordaron el tema alimentario desde la doble perspectiva de producir nuevos alimentos que se unan a los ya conocidos y a defender o incrementar la producción vegetal básica. Sanz Pérez habló de lo que desde hace veinte años se conoce como "nuevos alimentos", que son productos obtenidos con materias primas no utilizadas con anterioridad, o sometidas a algún tipo de modificación, o bien de materias primas conocidas pero manipuladas mediante nuevas tecnologías, siempre con objeto de mejorar sus cualidades nutrientes o de prolongar el periodo válido para su consumo. Y de similar interés fue la intervención de María del Carmen Francés, con sus "Previsiones para el uso de fitosanitarios", quienes con todos sus problemas, que sin duda los tienen, han sido definitivos para evitar pérdidas que podrían haber alcanzado hasta el 75% de la producción agrícola esperada. Definir y difundir las normativas y limitaciones de su empleo, así como el control efectivo y la adecuada formación del personal que los manipula, puede y debe disminuir los riesgos de toxicidad derivados de su utilización y favorecer el suministro de alimentos sanos a una población mundial que en el año 1900 era de 1.600 millones de personas, en la actualidad lo es de 6.000 millones, y puede llegar a ser de 10.000 millones en el año 2030.

En el dominio energético, las intervenciones estuvieron a cargo de dos cualificados expertos, que ocupan responsabilidades de alto nivel en el sector. Ramón Gavela expuso magistralmente el tema de "Nuevas tecnologías para tratar residuos radiactivos", de palpitante actualidad por ser el condicionante básico para el desarrollo del sector. Punto por punto, destacó los problemas, las dificultades y logros, no dejando de sorprender la magnitud de éstos en un ambiente social que dista de ser estimulante. No se puede silenciar que los combustibles fósiles al uso, con independencia de su agotabilidad, están incrementando los contenidos de anhídrido carbónico en la atmósfera hasta límites perturbadores de la estabilidad térmica del Planeta, y que desde la Cumbre de la Tierra en Río, en 1992, se llevan celebradas seis Conferencias Internacionales para reducir los límites de emisión, en las que la posición europea es la única decidida y clara. Pero esto no es suficiente.

En la última intervención, Antonio Colino habló de las "Perspectivas energéticas inmediatas y mediatas" y sin negar la realidad de los

horizontes de agotamiento, al menos al día de hoy, dejó un amplio margen a la esperanza de disponer de nuevos combustibles limpios –hidrógeno o fusión nuclear- siempre que no decaigan, o más bien se incrementen, los esfuerzos investigadores.

Obviamente, de mi intervención personal no quisiera anticipar nada. En estas líneas se trata de hacer una presentación, no una crítica, que en este caso habría de ser autocrítica. Sólo advertir que mientras en el título general se habla de Educación, en el específico se le añade el adjetivo "ambiental", debido a que una de las connotaciones más específicas del siglo XX ha sido el deterioro del Medio derivado de la demanda intensiva de recursos a que se le ha sometido. Los programas educativos deben incorporar a sus contenidos el sentimiento y la sensibilidad por lo ambiental. Se ha creado, con no pocos esfuerzos, una política ambiental que debe de ser integrada en el proceso educativo. Hace pocos meses decía nuestro compañero Lacadena en ésta Real Academia, que nos encaminamos hacia una "biocracia", entendida -supongo- como instrumento inspirador de comportamientos sociales; pero yo creo que ya existe, y no se puede obviar, una "ecocracia".

I. La salud en el Estado de Bienestar

MANUEL DOMÍNGUEZ CARMONA
Académico de Número

MERCEDES DOMÍNGUEZ DE LA CALLE
Licenciada en Derecho. Máster en Recursos humanos

I. CONCEPTO DEL ESTADO

El Estado es la institución que articula al Gobierno con las instituciones y con los ciudadanos; surge, en las democracias, de la voluntad popular para encauzar, proteger y estimular la convivencia y la armonía social, para lo cual, entre otras cosas, establece impuestos. Bodino y luego Hobbes, concibieron al Estado moderno, de corte occidental, ante la fragmentación religiosa que en Europa causó el Protestantismo, como la institución política dedicada a servir a los intereses de todos los ciudadanos en un marco común, sea cual fuere su religión, superando la asimilación del Estado con ésta. El proceso que llevó al concepto occidental del Estado intenta abrirse paso hoy en muchas países en los que impera el integrismo islámico, pero también constituyen una amenaza al Estado de Derecho los fundamentalismos fascista, comunista, etc. La concepción laica del Estado explica, que la política de Richelieu o la de Mazarino, cardenales ambos, fuera en bastantes casos contraria a los intereses terrenales del catolicismo. La exigencia del Estado moderno es conseguir la convivencia, la armonía confuciana con el reconocimiento como enseñaban en el siglo XVI los dominicos padre Vitoria y los hermanos Soto y Báñez y los jesuitas Molina, Vázquez y Suárez y en el XVII, el Padre Domingo de Soto, quien escribió en su obra "De Iustitia et Iure": «La república prohíbe aquellos vicios que suponen una injuria para los demás, porque la meta y fin de los que gobiernan es la seguridad y tranquilidad pública. Más aún: deja impunes unos pecados para evitar otros... Por lo tanto la

república no castiga los crímenes según la gravedad que tienen ante Dios, sino en el grado que se oponen a la paz».

En el Estado moderno, una mayoría no puede marginar a las minorías, aunque el poder se haya logrado por medios democráticos, pues es necesario mantener un equilibrio entre los intereses de todos, frente a los intereses particulares de la mayoría, sea cuales fuere su etnia, clase social o ideario político representado por los partidos políticos, (aunque siempre habrá minorías que se sientan excluidas). Confucio sentenció que "puesto que en los asuntos humanos todos pueden tener una parte de razón, todos deben ser escuchados". Es interesante que el Libro de Menclus, el mas importante discípulo de Confucio, difundido por los jesuitas en Europa en el siglo XVIII, fuera conocido por los enciclopedistas mas ilustres.

Cuanto mayor sea la proporción de ciudadanos que se encuentran cómodos con la función de su Estado definido en su Constitución, es mayor la estabilidad de aquél, pero esto puede rebajar los ideales, los valores, el criterio moral etc. que cuanto más elevados sean, darán mas categoría moral al Estado que los mantenga, aunque sea aceptado por menos personas. Hay que considerar que el Estado debe ser un referente ético, formador de la ciudadanía y por ello los legisladores deben tener presente no ya solo el nivel ético de las mayorías sino el de la verdad aunque la defensa de esta implique el descrédito, la calumnia o la dimisión. En España la Ley del Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y del Procedimiento Administrativo de 1992 determina que los ciudadanos, es decir la sociedad civil sean los sujetos de los derechos y no los funcionarios; por eso el ciudadano, del que es esencial la libertad de pensamiento, no sólo debe participar indirectamente eligiendo a sus representantes, sino en muchos casos interviniendo personalmente o formando grupos, no políticos, de forma directa y de modo más libre en la toma de decisiones.

El Estado, como institución, surge, para proteger la libertad y por tanto la justicia, la seguridad, es decir la defensa y posteriormente los derechos de los ciudadanos, con lo que pasa a ser "Estado de Derecho". El Estado es asumido universalmente excepto por el anarquismo radical, que llegó a aceptarlo, por ej. durante la Guerra civil, como

cauce para reivindicar libertad, justicia y para impedir la explotación del hombre.

Toda organización, al igual que un organismo vivo, tiende naturalmente a crecer y esto ha ocurrido con el Estado, aunque esté controlado por los Parlamentos. La extensión del Estado a otras actividades ha disminuido su dedicación a las funciones clásicas y por ello estamos asistiendo a una debilitación de la idea de defensa y sobre todo de la de la Justicia sobrepasada y en gran medida desacreditada. Esta tendencia totalitaria del Estado no es nueva, pues como hemos dicho, es en parte biológica. Jean Baptiste Colbert, ministro de Finanzas del Luis XIV preconizaba la intervención del Estado en la economía; el nacionalismo económico de Federico List introdujo el proteccionismo como una actividad estatal y la Verein Für Sozialpolitik con Wagner a la cabeza difundió el socialismo teórico. El general De Gaulle proclamó en 1946 que en el "futuro será misión del Estado asegurar por sí mismo el desarrollo de las grandes fuentes de energía, carbón, electricidad, petróleo; también de los principales medios de transporte, y de los instrumentos financieros sobre los cuales todo lo anterior descansa. Es misión del Estado elevar la producción metalúrgica al nivel necesario, disponer del crédito de la nación para dirigir el ahorro nacional hacia las grandes inversiones y evitar que los grandes grupos de interés actúen en contra del interés nacional». Por su propia dinámica, si no se ponen cortapisas, el Estado va asumiendo mas competencias. hasta hacerse omnímodo, como ocurrió en los países comunistas o a tener un enorme protagonismo en la vida económica como en el nazismo, en el fascismo y en el franquismo. Schumpeter vaticinó en 1949, «que era imparable la marcha hacia el socialismo». Todos eran partidarios de que el Estado ampliase cada vez más sus fronteras, es decir a hacer cada vez mayor el sector público. Entre otras actividades aparece a finales del XIX, teniendo como bandera la equidad y la fraternidad que deben existir entre los hombres, la extensión de la educación y de la seguridad social a todos los ciudadanos, es decir surge el "Estado del Bienestar". Como consecuencia la actividad pública es múltiple para desarrollar a los ciudadanos, satisfacer las necesidades de la comunidad y redistribuir la renta.

El deseo de que el Estado de cobijo a todos implica un rebajamiento de las exigencias morales. La ética no depende de la Verdad, sino de la

aceptación de la misma por la mayor parte de los ciudadanos. Esto lleva, a que el Estado que debe ser una referencia ética, pasa a ser tolerante y hasta proxeneta favoreciendo con su lenidad por ej,. la prostitución, la ludopatía, el uso de tóxicos sociales, la pornografía etc. y esto ciertamente es cómodo para el ciudadano. Kierkegaard, escribió en su diario "La verdad compromete a la persona, tiene consecuencias prácticas, y eso da miedo porque no se sabe bien a dónde me puede llevar, qué sacrificios puede exigir, que renuncias puede imponer"

II. INTERVENCIÓN DEL ESTADO EN LA SALUD PÚBLICA.

La necesidad de atender a los enfermos, a los minusválidos, a los ancianos etc. llevó desde la Edad Media a establecer sistemas de ayuda basados en la cooperación y sobre todo en la solidaridad de las personas agrupadas en Gremios y en Cofradías para paliar las consecuencias de los infortunios, entre ellos el de la enfermedad.

A través de la historia han sido muchos los filósofos y políticos que han atribuido al Estado la potestad de ocuparse de los problemas de Salud, aunque algunos como Hipócrates eran partidarios de separar la Medicina de la Política, problema que aún continúa en discusión. Licurgo decía "Ninguno vive para si mismo". El papel del Estado en la Salud se puede concretar en el alegato de Neumann en 1847 que consideraba que como la salud era la única propiedad de muchas personas y al ser de responsabilidad estatal la protección de la propiedad, el Estado, debería responsabilizarse en proteger esa "propiedad". Virchow, el gran sanitario social y después genial anatomopátologo decía que el "El Estado, que representa a la totalidad de sus miembros, tiene el deber de tomar medidas para el mantenimiento y el cultivo de la Salud". La Convención francesa de 1791, movida por las epidemias estableció "la obligación del Estado de proteger la salud de los ciudadanos" y la Carta fundacional de la OMS de 1946 declara que "la salud es un derecho individual de los ciudadanos sin distinción de sexo, raza, religión, ideología política, condición económica y social" e indica que los gobiernos tienen responsabilidad en la salud de los pueblos y que tiene la obligación de adoptar medidas sanitarias y sociales.

El Estado interviene en la salud apoyado en:

1.º La misión protectora del Estado de los Derechos humanos. El derecho presupone relación entre personas de modo que el individuo aislado, si existiera, no tendría derechos. El hombre, sólo por serlo, goza de unos derechos naturales y universales. La Salud es un constituyente de los Derechos naturales o fundamentales, es decir de los que son inherentes a la condición humana desde la concepción y a los que la Sociedad y el Estado deben reconocer. El derecho a la Salud, debe ser considerado como un perfeccionamiento del derecho a la vida y a la integridad física y psíquica. La vida es un don único e irrepetible. Es el cañamazo, en el que escribimos nuestra biografía. Comprende la protección frente al asesinato, incluidos el aborto y la eutanasia activa, a las mutilaciones, entre ellas la ablación del clítoris, la castración y la esterilización, la tortura , la experimentación peligrosa, aunque sea con el libre consentimiento del interesado, salvo que vaya dirigida a un beneficio superior, la manipulación psíquica con drogas, etc. El derecho subsiste incluso frente a uno mismo (suicidio, eutanasia consentida, exposición imprudente frente a riesgos en el trabajo o en la conducción de vehículos etc.). No se apoya en el derecho a la vida, el alegado derecho a disponer de ella, aunque se enmascare con el derecho a vivir la propia muerte. La Salud proporciona libertad para realizar los objetivos vitales; es la herramienta que da mayor valor y calidad a la vida, pues proporciona bienestar, permite una mayor disponibilidad del organismo para lograr una mejor educación, formación profesional, capacidad para disfrutar del tiempo libre, para la ayuda, para el amor, etc. en suma para conseguir mejor nuestras finalidades, nuestros objetivos vitales, nuestra vocación, aquello para lo que nos sentimos llamados; este hecho confiere un gran valor moral a la salud la eleva a derecho y llena de contenido ético a los profesionales sanitarios. El socialismo considera que el derecho a la salud (y a la educación, etc.) es prioritario, mientras que el pensamiento liberal lo considera dependiente de la libertad política. El derecho a la salud requiere la satisfacción de derechos subordinados de tipo económico y social como el de disponer de un trabajo, de un salario, de un ambiente, alimentación, vivienda etc. adecuados, que permiten la satisfacción del derecho a la salud. Evidentemente no se puede garantizar la salud, que depende de importantes determinantes biológicos como son los genes y los ambientes físico, químico,

biológico y social sino sólo el derecho a recibir asistencia sanitaria y social que permita lograr un suficiente estado de salud. Por ello Viñes definió en 1989, el Derecho a la salud como "el poder disponer por parte de la persona, de los máximos niveles de medios técnicos, servicios sanitarios y seguros sociales que en cada momento permita el contexto social, político y económico de la sociedad a la que pertenece, sin merma de la satisfacción del resto de los derechos de la persona". El derecho a la salud depende también del derecho a la salud de los demás. En el aborto no se puede anteponer el bienestar personal a la muerte de otro, (aún admitiendo que un embrión o un feto no fueran seres humanos, su destrucción sería aún más grave, pues le impide precisamente ser hombre). El derecho a la salud comprende el de poder procrear y de fundar una familia. La necesidad de proteger la vida como bien supremo conlleva el respeto a la dignidad de la persona humana, como se reconoce en el Preámbulo de la Declaración universal: «El reconocimiento de la dignidad inherente a todos los miembros de la familia humana y de sus derechos iguales e inalienables constituye el fundamento de la libertad, de la justicia y de la paz en el mundo».

La atribución al Estado de la salvaguarda del derecho a la salud puede plantear problemas cuando la merma de la salud deriva de una conducta inadecuada. Ha habido médicos e instituciones que han rehusado atender a personas cuya enfermedad ha sido causada por una conducta incorrecta, pudiéramos decir en cierto sentido buscada, como puede ser el fumar ya que su atención supone utilizar recursos aportados por todos. Pensamos que aún en estos casos permanece el derecho a la salud. Tiene más categoría el sufrimiento del enfermo que su responsabilidad social. Es la caridad y no la justicia la que debe orientar la actuación. No es lícito considerar que le está bien empleado; el enfermo ya está suficientemente castigado con la conciencia de haberse provocado la enfermedad, v.g. por ir demasiado veloz en el automóvil, someterse al juego, a la gula, a la promiscuidad sexual (causante en gran proporción del sida), a la exposición excesiva al sol, a vivir en el filo de la navaja que lleva a accidentes y al estrés, etc. El Maratón popular celebrado en Madrid en mayo de 2000 causó un costo sanitario de 11 hospitalizados, 58 asistencias por el Samur, 299 intervenciones de podólogos, 992 por fisioterapeutas y 2400 por psicólogos, y ello sin ninguna mejoría en la salud de los participantes. Cada

persona tiene en sus ojos no ya pajas sino vigas que perjudican su salud y el bienestar de la comunidad simplemente consumiendo innecesariamente recursos. Por otro lado el quitar el derecho a la salud al enfermo, aunque la enfermedad se deba a su conducta deja sin castigo y por lo tanto sin ejemplaridad a los que tienen estilos de vida peligrosos pero no han tenido aún la enfermedad

Es comprensible que, ante la escasez de un medicamento o de determinados órganos para trasplantes, se establezcan prioridades por ej. quien desarrolló una cirrosis por tener una hepatitis C debida a ser drogadicto, debe ser el último en la lista de candidatos a transplante, pero no por ser drogadicto, sino porque es seguro que el hígado transplantado se infectará con el virus. En esta línea tenemos la negativa a transplantar un hígado al ex famoso futbolista inglés George Best con cirrosis alcohólica, por la presunción de que volverá a beber. Con el criterio excluyente no habría que atender a los que han intentado suicidarse, a los que arriesgan su vida en deportes con gran riesgo, ni al que tiene caries por tomar caramelos o por no acudir al dentista.

Si el Estado acepta la responsabilidad en la promoción del derecho a la salud los organismos internacionales en tanto asumen misiones estatales deben favorecer a nivel mundial ese derecho. Así el artículo 25 del Pacto de la Sociedad de Naciones, decía que los miembros de la Sociedad «se esforzarán por tomar las medidas de orden internacional para prevenir y combatir las enfermedades». La Carta de las Naciones Unidas, cuya idea básica es la afirmación del respeto de los Derechos del hombre, considera a la solidaridad ante la agresión y ante la miseria como básicas y el Preámbulo de la Constitución de la OMS dice textualmente «La salud de todos los pueblos es una condición fundamental de la paz del mundo y de la seguridad; depende de la más estrecha colaboración de los individuos y de los Estados».

En el plano jurídico de los derechos del hombre, es necesario distinguir las normas legales de carácter obligatorio de aquellas que sólo son recomendaciones, diferencia que depende del modo en el que se promulgan, de la naturaleza del derecho protegido e incluso de la situación social pues en épocas de crisis interna o internacional, se pueden suspender provisionalmente el ejercicio de algunos derechos.

2.º El Estado de Bienestar se basa en la equidad y en la solidaridad y, por ello, debe intervenir en Salud. Ni la salud ni la enfermedad se distribuyen igualitariamente en la población; la equidad no supone que todos gocen de igual grado de salud, sino que los riesgos para la salud sean semejantes para todos y que todos puedan acceder libremente a los servicios de salud y de apoyo social, sea cual fuere su etnia, ideología, religión, sexo o estado de validez, eliminando las barreras geográficas, económicas y educacionales que dificulten el acceso a los servicios asistenciales, y tratando desigualmente a los que más lo necesiten pues como consideraba San Isidoro la "igualdad supone tratar de forma desigual a los desiguales".

Ya hemos dicho que en el ejercicio de su libertad cada persona podrá exponerse a su albedrío a factores peligrosos a su salud. La consecuencia de que por esa conducta irresponsable enferme, no debe excluirlo de la asistencia sanitaria. Cuando los fumadores norteamericanos y británicos, necesitan asistencia médica o social por enfermedades relacionadas con el tabaco son atendidos después de los no fumadores. La medicina no puede, o al menos no debe, tener en cuenta la culpabilidad, no es su cometido, de los pacientes. Todos nosotros pecamos por acción o por omisión en nuestra salud. Sin embargo, si hay que establecer prioridades en cuyo establecimiento debe tenerse en cuenta la probabilidad de que la actuación terapéutica tenga éxito, no cabe duda que la atención de bebedores, fumadores, drogadictos etc,. en los que se dude que por sus hábitos puedan comprometer el resultado de la actuación sanitaria debe dejar paso a la de aquellos en quienes se piense que van a obtener mejores beneficios para su salud.

Actualmente, los fumadores y la personas con enfermedades crónicas pagan más en el Reino Unido para contratar un seguro. Las aseguradoras de vida y de enfermedad están estudiando la posibilidad de solicitar a sus clientes una prueba genética que pudiera suponer el rechazo a asegurarlos o a imponerles a ellos y hasta a sus familiares una prima suplementaria. Actualmente se le solicita que de forma voluntaria, permitan investigar la presencia del gen determinante del corea de Huntington cuya presencia en personas sanas implica la aparición de una terrible demencia, sin prevención y sin tratamiento posibles, y

esta investigación pronto se podrá extender al cáncer de mama, al del colon, a la fibrosis quística, al Alzheimer etc.

La vida no es un valor cuantificable. Sin embargo es lógico que ante la escasez de un recurso ya sea medicamento, intervención quirúrgica, trasplante etc. se establezcan prioridades en términos de eficiencia y por ej. se debe preferir salvar la vida de un niño, antes que la de un anciano, la de una persona con responsabilidades familiares que la de la persona sin ellas, pero no debe haber diferencias entre la atención al soldado propio herido, respecto a la del soldado enemigo, ni según la importancia o la responsabilidad social del enfermo.

En muchos países desarrollados subsisten importantes desigualdades en la salud según la clase social (accidentes de trabajo, pobreza, hacinamiento, hábito de fumar, etc.), así como en la utilización de los servicios de salud, especialmente de los de Medicina Preventiva. En 1980 se publicó en el RU el Informe Black, llamado "Ley de la Asistencia inversa" no bien acogido por el Gobierno; el informe destacó que las diferencias de la mortalidad entre los distintos grupos sociales, se debían mas que a fracasos del Servicio de Salud Nacional, a las diferencias de educación, ingresos, vivienda, alimentación, empleo y condiciones de trabajo. El informe proponía establecer medidas sociales entre ellas la Educación para la Salud, la reducción del consumo de tabaco, el incremento de los impuestos, junto con la distribución equitativa de los recursos sanitarios

La equidad no debe terminar en las fronteras entre países, ni estar limitada por la compartimentación de las personas en Estados, sino que debe abarcar a todo el Mundo. Esto implicaría barrer las desigualdades entre países ricos y países pobres, las cuales sin embargo siguen aumentando. En el mundo hay enormes desigualdades en Salud. El tercer mundo sufre carencias extensas y profundas. La OMS estima que más de 1.000 millones de personas no se han beneficiado de los avances sanitarios desarrollados en el siglo XX. La esperanza de vida en África es apenas de 50 años. Mientras que en el resto del mundo murieron de sida en 1998 unas 500.000 personas sólo en el África subsahariana se produjeron 1,8 millones de muertes. El 89% de todos los casos de malaria del mundo se producen en África. Se calcula que si se erradicara

esta enfermedad podría aumentar el PIB un 32% es decir unos 17 billones de pesetas, cifra quintuple de la ayuda al desarrollo que recibieron los países africanos en 1999. En 1960 el 20% de la población mundial, la que vive en países desarrollados tenía una renta per cápita 30 veces superior al del 20% más pobre, pero en 1997 ascendió a 74 veces más. En los países desarrollados mueren como consecuencia del parto o de sus complicaciones una de cada 9.200 mujeres gestantes, mientras que en los países pobres fallece una por cada siete embarazos. Las enfermedades que causan el 90% de la mortalidad e incapacidad en el mundo sólo reciben el 10% del dinero dedicado a investigación médica. Adetokunbo Lucas, presidente del Foro Global, (Fundación internacional financiada por la Organización Mundial de la Salud, el Banco Mundial, la Fundación Rockefeller y los gobiernos de Canadá, Holanda, Noruega, Suiza y Suecia) declaró en 2000 que los países de rentas bajas y medias que comprenden el 85% de la población mundial, soportan el 92% de la carga de enfermedad, mientras que los países ricos, con el 15% de la población mundial, soportan sólo el 8% de esa carga", El 98% de los 7,7 millones de recién nacidos, que mueren anualmente ocurren en países subdesarrollados.

El informe elaborado por el Foro Global, fue presentado el 2 de mayo de 2000 en Ginebra; en él estimaba en porcentaje "Daly", la diferente situación entre los países desarrollados y los subdesarrollados.

Enfermedad	*Países subdesarrollados*	*Países desarrollados*	*Mundo*	*Previsión para el año 2020*
Infecciones respiratorias	5,4	1,3	6,0	3,1
Enfermedades perinatales	6,2	1,9	5,8	2,5
Enfermedades diarreicas	5,7	0,3	5,3	2,7
Sida	5,5	0,9	5,1	2,6
Depresión unipolar	4,0	6,5	4,2	5,7
Cardiopatía isquémica	3,3	8,8	3,8	5,9
Enfermedad cerebro vascular	2,9	4,8	3,0	4,4
Malaria	3,1	0,0	2,8	1,1
Accidentes de tráfico	2,7	4,2	2,8	5,1
Tuberculosis	2,2	0,1	2,0	3,1
EPOC	2,1	2,3	2,1	4,1
Guerra	1,7	0,1	1,5	3,0

La desigualdad en salud no se debe a escasez de recursos sino al problema social y económico de una distribución desigual y a un mal uso de los recursos. En 2000 no se ha podido evitar la hambruna de Etiopía por la negativa de Eritrea a permitir el paso de alimentos desde sus puertos a la población hambrienta de aquél país. Los males de la humanidad tienen sobre todo sus raíces en las estructuras económica, social y política así como en la conducta de las personas. El 90% de los casi 13 billones de pesetas anuales que se invierten en la investigación médica se dedican al tratamiento de las enfermedades que causan el 10% de las defunciones. Bien es cierto que muchos problemas sanitarios del tercer mundo tienen soluciones teóricas; sólo hay que aplicarlas. Por ejemplo aún cuando a la investigación en la neumonía y a las diarreas infecciosas, a las que se debe el 11% de la mortalidad y de la incapacidad global, sólo se dedica el 0,2% a la prevención de las infecciones diarreicas procesos perfectamente evitables con los conocimientos actuales.

Los que solicitan que se condone la deuda de los países subdesarrollados o se pide, incluso de forma exigente, la cesión del 0,7% de los presupuestos a aquellos países han de saber que eso debe ser una decisión generosa, no de los gobiernos, sino de los ciudadanos que deberán pagar más impuestos o recibir menos prestaciones de su Estado.

3.º En la génesis de las enfermedades intervienen, como factores de riesgo primario, situaciones sociales pero en casi todas las enfermedades subyacen como factores de riesgo secundario, elementos sociales como son las condiciones laborales, y económicos en las que el Estado por medio de la política, puede influir. Los factores sociales actúan de forma sinérgica entre si y con los factores biológicos y con los ambientales.

A partir de los años 60 y sobre todo en los últimos 10 años, problemas como los malos tratos, el alcoholismo, la drogadicción, la violencia, los abusos sexuales etc., no considerados antes como problemas médicos, lo son con el desarrollo del Estado de Bienestar que comprende el bienestar social y hace intervenir a los Servicios sanitarios en esos problemas que son sociales y que afectan a la salud, en cuanto se defina ésta como equivalente a bienestar según la famoso definición de Stampar.

4.º Muchas personas y sobre todo empresas, organismos e instituciones pueden ser responsables de que existan o de que puedan actuar factores de riesgo. Le corresponde al Estado determinar las responsabilidades civiles y penales y castigar el incumplimiento de las normas.

Las empresas que contaminan deben en primer lugar no hacerlo y en caso de fallo compensar a los afectados. Hay una máxima de que quien "contamina paga". Esto es aplicable al contagio de enfermedades como el sida o las hepatitis en los hospitales o a quien transmite infecciones por relaciones sexuales, etc.

Una gran importancia teórica y práctica tiene el debate planteado en estos días sobre las responsabilidades de las empresas que elaboran tabaco, que en teoría habría que extender a los que cultivan la planta y a los que venden un producto tan peligroso como el tabaco. Sin negar la responsabilidad moral de las víctimas del tabaco, que en su inmensa mayoría conoce el riesgo, no se debe exonerar de la misma a la empresa que no sólo lo comercializa, sino que incita a su consumo con una propaganda que gasta en USA 1.000 millones de dólares en publicidad mientras que la nicotina, determina la adicción.

Recientemente José Calderón, afectado del síndrome de Buerger, proceso de etiología no aclarada, que le había hecho perder los brazos y las piernas reclamó sin éxito 350 millones de pesetas a Tabacalera manifestando que «El que vende veneno, algo de culpa tendrá» En 1997 se descubrió que las tabaqueras adicionaban nicotina y otros productos al tabaco para hacerlo mas atractivo sobre todo para niños, mujeres y habitantes del tercer mundo. Ante varias demandas, las compañías americanas decidieron compensar a los familiares para ahorrarse gastos, posibles sanciones y la publicidad negativa y en 1998 firmaron un acuerdo de principio con la Administración norteamericana por el que se garantiza una virtual inmunidad a cambio de una indemnización de 506.000 millones de dólares -!78 billones de pesetas!- pagaderos en 25 años. En julio de 1998, un jurado de Jacksonville (Florida) impuso una multa de mas de medio millón de dólares y una indemnización de 1,2 millones de dólares a la tabacalera Brown and Williamson Tobacco, para los familiares de Roland Eddie Maddox de 67 años muerto en 1997 de cáncer de pulmón, una enfermedad relacionada con el tabaco pese a

que el fallecido había declarado "que nadie le empujó durante medio siglo, a fumar dos cajetillas diarias de Lucky Strike sin filtro" y a que la defensa insistió en que la Brown y Williamson no hizo nada para obligar al Sr. Maddox a fumar, por haberse demostrado que la compañía había negado información vital sobre los peligros del tabaco y conspirado para ocultar esos riesgos.

Se han aplicado impuestos específicos para tóxicos tolerados como el alcohol y el tabaco. Son las ecotasas que en USA llaman impuestos del pecado o "sin taxes" y conocidos en nuestro país como impuestos finalistas o especiales para disuadir del consumo de los productos afectados y disminuir los costes sanitarios y sociales. En mayo de 2000 el Ministerio de Sanidad ha solicitado la elevación de un 10% del precio del tabaco.

5.º La aparición de nuevos riesgos para la salud, debidos a la tecnología, obliga a la regulación de los mismos por parte del Estado. La contaminación del ambiente, incluyendo la modificación del clima, la contaminación radiactiva, etc., son fruto del desarrollo tecnológico; no parece que supongan, al menos de forma importante, riesgo las radiaciones de larga longitud de onda que permiten la radio, la televisión y la telefonía móvil.

La red informática de Internet, que abre unas tremendas posibilidades al permitirnos disponer de la mayoría de la información recopilada por la Humanidad y la que nos suministra cualquier persona del planeta, ha irrumpido en la vida del hombre actual causando una adicción que además de injertarnos su lenguaje técnico, transforma nuestro pensamiento, nuestras relaciones personales, incluidas las familiares y afectivas, nuestro trabajo etc. Esta tecnología puede causar incomunicación y aislamiento con empobrecimiento sensorial y motórico que lleva no ya al sedentarismo sino a la inmovilidad y al déficit emocional. La realidad virtual, permite hacer viajes y tener aventuras fantásticas sin movernos del sillón, eso si ergonómico, e incluso permitirá tener relaciones sexuales con el cibersexo, sin problemas de fecundar ni de contagiarse.

6.º La Salud es un bien social pues la del individuo influye en la comunidad y viceversa. Newman escribió que "La Salud del pueblo es materia que concierne a la colectividad" e Eisenhower dijo "La salud de

nuestro pueblo es la verdadera esencia de nuestra vitalidad, fuerza y progreso como nación". El crecimiento y los cambios demográficos influyen en las condiciones económicas y sociales y, en consecuencia, en la salud y el bienestar. Un indicador podría ser el de los años de vida perdidos por cada proceso (Daly) y para las enfermedades invalidantes la merma de la calidad de vida que las mismas determinan. La prevención y la posible cura, es además de una prioridad internacional de tipo sanitaria, lo es de seguridad y por ello el Consejo de Seguridad de la ONU trató en el año 2000 por primera vez un problema sanitario, precisamente el sida.

7.º La salud tiene un valor decisivo para el desarrollo económico y para el tan relacionado desarrollo social. Aristóteles afirmaba que la "La Salud es el fundamento de la prosperidad del pueblo y del poder de la nación y su cuidado debe constituir el deber de todo hombre de Estado". La salud favorece la eliminación de la miseria, la promoción del empleo y la satisfacción de las necesidades personales con aumento del bienestar. Se establece un mecanismo regulador cerrado, en el que intervienen muchos factores: la salud aumenta el desarrollo económico (productividad) y el social y estos a su vez mejoran la salud de la población. Inversamente, la enfermedad rebaja el desarrollo y la de este la salud. Salud y desarrollo son dos objetivos inseparables del Estado. La promoción y la protección de la salud de los ciudadanos es imprescindible para un desarrollo económico y social sostenido y contribuye a mejorar la calidad de la vida y la paz social.

8.º La presión social, ya que el hombre quiere librarse de los conflictos que su libertad le produce y así carga al Estado con la responsabilidad de preocuparse de su salud.

9.º Por la presión de los profesionales sanitarios. En parte por comodidad, la clase médica exige al Estado que se ocupe de la Salud. Como decía Neri en 1979 "La profesión médica genera una estructura de demanda que en gran parte responde a apetencias de su propio desarrollo, las que sólo parcialmente se adecuan a las auténticas necesidades vigentes en la comunidad" y como decía Malher en 1975 "La parte principal y mas costosa de la tecnología médica parece aplicarse más para dar satisfacción a los miembros de las profesiones sanitarias que en provecho del consumidor de los servicios de salud".

10.º Cuando la actividad sanitaria requiere inversiones que exceden a las posibilidades de la iniciativa privada, aún subvencionada, el Estado se ha ido haciendo cargo de las mismas. De forma similar cuando la acción estatal tiene claramente una mayor eficiencia, tiende el Estado a hacerse cargo de las mismas.

11.º Por la necesidad de establecer requisitos para alimentos, medicamentos, viviendas, etc.

Por ejemplo para regular el acceso a puestos públicos, en este caso sanitarios. No es el lugar adecuado para comentar la situación española en este campo. Basta recordar que en la Universidad, aparte la endogamia, la convocatoria de las vacantes, los criterios para hacer la selección y en gran medida el nombramiento de los jueces lo realizan quienes aspiran a ocupar plazas

Para garantizar que la investigación biosanitaria no lesione los derechos humanos, la justicia, o la competitividad evitando monopolios y explotaciones etc. Así el conocimiento de la secuencia en los cromosomas de los 100.000 genes propios, aunque no específicos del hombre, debe ser patrimonio de la humanidad y el acceso al mismo debe ser libre y tal vez gratuito para que no se mercantilice ni utilize espuriamente esta importante base biológica de nuestro ser. El desciframiento del genoma humano, ha sido logrado en el año 2000 por la empresa americana "Celera Genomics" cuyos beneficios serían inmensos si se aceptara su patente

El apoyo del Estado a la investigación biomédica exige el establecimiento de requisitos con el objetivo de que la investigación tenga más garantías de éxito, más aplicabilidad inmediata etc. Esto que se ve como necesario crea un poder fáctico en los encargados de regular esas concesiones y establecer personas o grupos y tribunales que evalúen las peticiones, los antecedentes de los solicitantes etc. La burocratización, imprescindible para toda actividad estatal, condiciona las peticiones y limita la iniciativa personal. Por otra parte se establece un indeseable monopolio de la investigación, apoyando grupos ya constituidos con una base instrumental importante en perjuicio de los que desean empezar una investigación de forma autónoma sin sometimiento –posiblemente por no haberlo podido conseguir– a ningún grupo de presión. Además

no hemos de olvidar que la investigación constituye una carrera profesional en el ámbito de organismos estatales como el Consejo de Investigaciones Científicas o la Universidad.

12º Cuando la acción sanitaria pueda rozar derechos fundamentales. Por ejemplo la creación de banco de datos referentes a los antecedentes entre ellos la historia genealógica de los ciudadanos para investigar la herencia de determinados procesos como se pretende hacer en el RU, en Islandia (en este país una empresa privada controlada por el Parlamento, esta obteniendo desde 1998 una base de datos de todos los islandeses), en Estonia y en Suecia

Así el 4 de abril de 1997 España ratificó el Convenio para la protección de los Derechos humanos y la dignidad del ser humano con respecto a las aplicaciones de la Biología y de la Medicina.

Al hacerse el Estado garante y por tanto responsable de la salud de los ciudadanos lleva a tener que pagar indemnizaciones por fallos en la protección de la salud. Por ej. indemnizaciones a los afectados por el aceite de colza o a las personas contagiadas por actuaciones sanitarias en el caso de los virus de las hepatitis B, C, del VIH, o de las infecciones hospitalarias etc. Al asumir por el Estado responsabilidades en salud puede disminuir la responsabilidad de cada uno de nosotros.

III. MECANISMOS DE INTERVENCIÓN DEL ESTADO EN LOS TEMAS SANITARIOS.

El Estado interviene en la salud por medio de acciones de policía, de fomento o mediante la organización de servicios sanitarios.

Policía.

La policía es la acción de limitar la libertad de las personas, apoyada en órdenes, normas, etc. sujetas a la Ley y cuya no observancia se castiga con multas o con prisión aunque en algunos casos la ley pudiera no ser punitiva sino sólo para constituir una guía o una referencia, un

ideal, de lo que se debe hacer. La policía al ser protectora supone un cierto paternalismo.

En algunas ocasiones el Estado actúa con cierta hipocresía dictando leyes y normas, aún a sabiendas de que no se van a cumplir pero de ese modo cubre su responsabilidad. Es decir la norma sólo delimita responsabilidades. Por ejemplo dejando que se venda tabaco, lavándose las manos con la obligatoriedad de que los sugerentes anuncios, lleven al pié la indicación de que el cigarrillo perjudica seriamente a la salud o abrir narcosalas, que supone la aceptación de la derrota frente a la drogadicción, con el argumento especioso de que de ese modo se evita la transmisión de enfermedades y de intoxicaciones por adulterantes.

La actividad policial del Estado conlleva una importante dimensión ética pues no debe ser neutral en el tema de la Salud- El Estado es – aparte de la conciencia moral- la única institución capaz de poner límites a las actividades individuales.

La policía supone un conflicto con las libertades individuales, es una injerencia de los poderes públicos en la libertad personal. que debe preservar el Estado como un bien y un derecho de los ciudadanos. Se ha dicho hasta la saciedad que la libertad de las personas sólo debe tener como límite el derecho a la libertad de los demás, pero esta norma es demasiado vaga para que pueda servir de guía para expresar los límites de actuación del Estado. Una dictadura sanitaria sería la peor de las tiranías.

La enfermedad disminuye la libertad y por ello, en su acción protectora el Estado puede disminuir la libertad de poder enfermar. Hay procesos como el alcoholismo, las dependencias incluida la nicotínica, o simplemente conductas como el juego o el ejercicio ilegítimo de la sexualidad en la que la persona ha perdido su libertad o esta se ve constreñida por la fuerza de la líbido. Consideramos legítimo que el Estado impida restringiendo la libertad personal esas conductas de riesgo, del mismo modo que se colocan parapetos para evitar despeñamientos, o se tapan los enchufes para que el niño no introduzca los dedos en el mismo o se le encierra, para protegerles, en "parques" .

No debe haber libertad para conculcar los propios derechos. Por ejemplo no debe existir libertad para atentar o para poner en riesgo

nuestra salud y por tanto se pueden hacer obligatorias determinadas vacunaciones. El Estado debe forzar en cierto grado aunque no guste pues como decía Carlos III: "mis súbditos son como niños, lloran cuando se les lava". El liberalismo estima a la libertad como la plena disponibilidad del uso y disfrute personal de modo que la del otro sólo sirve en cuanto garantiza por equidad la propia, mientras que para el socialismo la libertad individual debe supeditarse a los fines de los grupos sociales sobre todo a los del Estado que pretende la igualdad. Para lograr la igualdad hay que limitar las libertades individuales en un alto grado. No actuamos libremente y de modo responsable en proteger nuestra salud, por ejemplo en evitar el cáncer de pulmón, la EPOC, las venéreas, la esteatosis hepática etc.

Cuando las medidas de policía afectan a empresas e instituciones desaparece en gran parte la antinomia con la libertad individual. Ya hemos hablado de la responsabilidad del Estado en las normativas a las que se deben ajustar las empresas ya sean públicas como privadas.

La policía sanitaria moderna se inició con Joham Peter Frank (1745-1821) quien escribió entre 1779 y 1817 su monumental obra en 18 tomos titulada "System einer völlständingen Medicinischen Polizey" o "Sistema completo de policía médica". En España sigue rigiendo el antiguo Reglamento de "Policía sanitaria mortuoria" de 1974 y la obligatoriedad, apenas vigilada y aún menos exigida, de la declaración de enfermedades, las medidas de aislamiento (antes las cuarentenas). De las antiguas vacunaciones obligatorias sólo queda la de la vacunación contra la fiebre amarilla para los que viajan o proceden de áreas en donde es endémica. Son normas de policía, la obligación de llevar cinturón o casco protector en vehículos, los tratamientos del agua con cloro o con flúor, normas sobre edificación de viviendas, de apertura de establecimientos, prohibición de la venta de leche sin pasteurizar o esterilizar, normas sobre actividades molestas, insalubres, nocivas y peligrosas etc. La actividad de policía sanitaria se apoyaba en la Ley de Bases de Sanidad de 1944, en la Ley del Estado de alarma, excepción y sitio de 1981. La ley 14/86 de 25 de abril dispone que las infracciones y sanciones en materia de sanidad, serán objeto de sanciones administrativas previa instrucción del oportuno expediente; finalmente la Ley 8/1988 regula las infracciones y sanciones de orden social

Sabemos que la Salud de cada ciudadano repercute en los demás y su pérdida perjudica a todos. Esta consideración podría abrir el camino a una dictadura con tal que las obligaciones establecidas pudieran mejorar la salud. Lenin contestó a Fernández de los Ríos cuando este le preguntó por la libertad –libertad ¿para qué? Por ello las medidas de policía deben reunir estas condiciones:

1.º Ser las mínimas e imprescindibles para lograr los objetivos deseables.

2.º Deben ser razonables y recoger el sentido de la justicia y de la verdad.

3.º Cuando el beneficio general sea importante, si no hay o son poco relevantes los inconvenientes y riesgos para las personas no implicadas directamente,

4.º Deben servir para orientar y ayudar a los ciudadanos favoreciendo la convivencia y la libertad de los demás

5.º Deben comprender los medios que permitan su aplicación y cumplimiento,

6.º Deben ser aceptadas por la comunidad, o al menos existir un relativo consenso en la utilidad y en la aplicación de las normas. Recordemos el fracaso de la Ley seca en USA.

Fomento

Las medidas de fomento se refieren al establecimiento de estímulos, apoyos, subvenciones, ayudas, becas, garantías, prioridades, premios, anticipos y fundamentalmente exenciones fiscales..Puede considerarse al fomento como la otra cara de la policía. No se castiga a quién incumple, se premia a quien cumple. Las medidas de fomento dirigen las acciones individuales sin o con poca merma de la libertad. Por ejemplo disminución de impuestos a quien establece medidas anticontaminantes. Las medidas de fomento, deben introducir necesariamente unos criterios para otorgarlas de la forma menos arbitraria y más justa. Esto de entrada es difícil. Un criterio pudiera ser la utilidad social, otro la categoría de

los candidatos etc. El criterio puede depender mucho de los intereses y puntos de vista de los responsables de las ayudas. Aún más subjetivo suele ser la valoración de esos criterios. Las medidas de fomento son muy susceptibles de pervertirse por la corrupción. por el cohecho y casi siempre por el dirigismo.

Parece lógico que sean destinatarios de las ayudas del Estado de Bienestar las ONG pero la intervención del Estado o es arbitraria o desnaturaliza la independencia que deben tener esas instituciones.

La acción de fomento en la investigación, llevada a cabo por instituciones estatales como el CSIC o el FIS supone burocratizar la investigación, y la somete a criterios, en su mayoría razonables, pero en todo caso limitadores de la libertad de investigación.

La Sanidad como Servicio Público.

El Estado puede intervenir en el beneficio social por medio de Servicios públicos, entre los que está la Sanidad Pública, etc. La Higiene Pública es un sistema organizado de protección de la Salud de los ciudadanos. Nació como consecuencia de los avances científicos sobre las enfermedades transmisibles y del éxito obtenido con el aislamiento y la cuarentena y después con el saneamiento, la desinfección y la vacunación.

Al ser la salud un atributo personal, el término "Salud pública" debería significar la salud del conjunto de la población. Esta expresión es una desafortunada traducción del inglés "public health". Quiere significar acciones dirigidas a conseguir la salud; el nombre correcto sería "Actividades de Salud Pública". En 1920 Winslow definió la Salud Pública como "Ciencia y Arte de impedir las enfermedades, prolongar la vida, fomentar la salud y la eficiencia física y mental mediante el esfuerzo organizado de la comunidad para que el individuo en particular y la sociedad en general, se encuentren en condiciones de gozar de su derecho natural a la salud y a la longevidad mediante: 1º El saneamiento del medio, 2º El control de las enfermedades transmisibles, 3º La educación sanitaria, 4º La organización de los servicios médicos y de enfermería para el diagnostico precoz y el tratamiento preventivo de la enfermedad, 5º El desarrollo de los

mecanismos sociales que aseguren al individuo y a la comunidad un nivel de vida adecuado para la conservación de la salud".

Queremos destacar en la definición de Winslow la frase "mediante el esfuerzo organizado de la comunidad". Sin embargo se la concibe como la acción del Estado para mantener y mejorar la salud de los ciudadanos. Para esto en español hay un término muy preciso, tradicional que es el de Sanidad, hoy casi proscrito. Para San Martín y Pastor "Salud Pública es la ciencia que se ocupa del estado y de los problemas de salud de las comunidades y sociedades humanas respecto de todos los determinantes sociales que producen los estados de salud de todo tipo, que se planifiquen para modificar favorablemente la situación con la participación organizada y consciente de la comunidad". Nuevamente se incluye la participación de la comunidad. La Salud pública comprende para Mustard y col. (1965) el cuerpo de conocimientos y prácticas que contribuyen a la salud colectiva, ya sea con medidas preventivas, curativas o con ambas. La Salud pública comprende pues a la Medicina curativa en cuanto a sistema organizado. Otro matiz lo da la definición de Last (1986) para quien la Salud pública es "la combinación de ciencia, habilidades y creencias (sic) dirigidas al mantenimiento y perfeccionamiento de la salud de toda la población". Sin embargo, el término de Salud Pública ha ido cubriendo sólo aquellas acciones planteadas por los Estados en materia de salud. Hay que destacar que en general son mas eficaces y requiere emplear menos recursos las acciones comunitarias que las individuales. Es mas útil depurar el suministro de agua de una comunidad que lograr que cada vecino lo haga con la que consume su familia.

Salud o Medicina Comunitaria

El concepto de Salud Pública, se ha hecho en la práctica, similar al de la actividad del Estado en los problemas sanitarios sin que la comunidad intervenga mas que como sujeto de la Educación Sanitaria para aceptar mejor los programas de salud, pero sin participar en la identificación de los problemas ni en la gestión ni en las decisiones. Por ello ha surgido el nuevo nombre de Salud o Medicina Comunitaria, o "Nueva Salud Pública" que mejor diríamos Sanidad Comunitaria definida como "Ciencia y

Arte de organizar y dirigir los esfuerzos de la colectividad dirigidos a promover (fomento), proteger y restaurar la salud". Destaca pues la participación responsable, crítica y continúa de la comunidad, informada claro está, y estimulada por los sanitarios para que los ciudadanos participen en la planificación, administración, gestión y control de todas las actividades dirigidas a conseguir la mejor salud de la comunidad. Esto implica una utopía, pues no podemos aceptar que se cumpla la condición participativa con el voto a favor de un determinado programa, que puede contener objetivos de salud, pero inmersos en el programa de cada partido; sería en todo caso una intervención indirecta, remota y sin participación cotidiana. Si aceptáramos válida la participación con el voto democrático se trasvasa el contenido de la Medicina comunitaria al de Salud pública. Para Piédrola (1988), la Salud Comunitaria comprende "la planificación sanitaria en el desarrollo económico y social a escala nacional e internacional, instaurando la atención primaria de salud, la medicina comunitaria, y un saneamiento integral del medio ambiente, orientándose a la implantación de un Servicio Nacional de salud".

La Salud Comunitaria se inicia con el Informe de Lalonde de 1974 y la consideración que hizo Mac Keown en 1976 reconociendo que la mejora de salud en el RU se debió al saneamiento y a la adopción de conductas más saludables. La Salud Comunitaria alcanzó la máxima categoría con la "Carta de Otawa de 1986 para la promoción de la Salud". En ella se expresa el deseo de que se elabore y refuerce la acción comunitaria, creando medios favorables, adquiriendo actitudes individuales correctas y reorientando los servicios de salud de modo que satisfagan las necesidades individuales. La Salud Comunitaria considera al hombre en su medio, especialmente en el familiar, donde construye sus actitudes y comportamientos. Pretende evitar el exceso de medicalización así como una rígida centralización de los servicios. Lo sustantivo en esta Nueva Salud Pública es la promoción y la participación de los ciudadanos en la planificación, administración , gestión y control de las actividades sanitarias; es decir sería la contribución civil a la Sanidad. Sin embargo salvo en Quebec y en algunos proyectos americanos y brasileños, no se ha establecido una autentica Sanidad Comunitaria, salvo en el nombre. Para lograr la participación comunitaria, la población debe conocer las metas y los motivos de las acciones y se deben

cambiar las pautas inadecuadas de comportamiento. Para lograr la participación de la comunidad se necesitan vías adecuadas para la participación, especialmente instituciones, diferentes de las políticas, en las que los ciudadanos participen activamente. El Estado del bienestar, paternalista y autoritario, sólo permite los cauces que ha determinado y que le son útiles para su prestigio. La Medicina comunitaria requiere la presencia de los servicios sanitarios integrados en la población lo que nos lleva a hablar de la Atención Primaria de Salud.

La famosa, tan traída y llevada, participación comunitaria es muy difícil de lograr, pues se oponen a ella estos obstáculos:

1.º La poca disponibilidad de tiempo para informarse de modo adecuado.

2.º El pensar que el gobierno y las autoridades deben solucionarles todos los problemas.

3.º La dificultad de encontrar cauces de participación fuera del voto. La decisión de apoyar a un determinado partido, aunque tenga un programa sanitario no es sino una forma muy elemental de participar. El despotismo ilustrado "todo para el pueblo pero sin el pueblo" sigue teniendo una gran relevancia.

Atención Primaria de Salud (APS)

Como elemento básico de la Medicina Comunitaria se ha replanteado la forma tradicional de atender los problemas de salud en una comunidad y se ha cristalizado la expresión "Atención primaria de Salud". En Alma-Ata, ciudad siberiana, capital de la Republica de Kazakh se celebró en septiembre de 1978 una reunión internacional auspiciada por la OMS y por la UNICEF con asistencia de representantes de 134 gobiernos y de 67 representantes de NU y de Organismos no gubernamentales. La Conferencia declaró que el nivel de Salud de cientos de millones de seres humanos era inaceptable y que había que reducir la diferencia entre poseedores y no poseedores, entre países desarrollados y los que aún no lo están, mediante acciones urgentes y efectivas que dio un enorme auge y trascendencia a la Atención Primaria de Salud.

La Conferencia definió la APS como "La Asistencia esencial, basada en métodos y tecnologías científicamente fundados y socialmente aceptables, puesta al alcance de todos los individuos y familias de la comunidad, mediante su plena participación y, a un coste que la comunidad y el país puedan soportar, en todas y cada una de las etapas de su desarrollo, con un espíritu de autorresponsabilidad y autodeterminación. La APS forma parte integrante tanto del Sistema Nacional de Salud, del que constituye la función central y el núcleo principal, como del desarrollo social y económico global de la Comunidad. Representa el primer nivel de contacto de los individuos, la familia y la comunidad con el Sistema Nacional de Salud, llevando lo mas cerca posible la atención de salud al lugar donde residen y trabajan las personas y constituye el primer elemento de asistencia sanitaria".

No equivale, como el análisis de la expresión podría hacer pensar, sólo a la asistencia inmediata al enfermo o al sano sino que se amplia mucho mas su contenido. Sin embargo a nuestro modo de ver, este término también encubre un vacío conceptual importante. En la reunión de Alma-Ata, se considera falaz la oposición entre curación y prevención, y pretendió unificar plenamente estas dos actividades y así Lalonde, ministro de Sanidad canadiense, presentó en 1974 a su Gobierno, un modelo de actuación en el campo de la salud que elimina la separación entre prevención y curación considerando que los campos de actuación deberían ser la biología humana, el medio, el estilo de vida y la Organización de los Servicios Sanitarios. En la Atención Primaria de Salud se destaca la consideración de la Salud como una entidad que supera la mera ausencia de enfermedad, y tiene en cuenta las características culturales sociales, económicas y hasta políticas de la comunidad, la multicausalidad etiológica, y la participación de la comunidad en la identificación y solución de los problemas de salud.

Servicio Nacional de Salud

Históricamente la intervención del Estado en la Asistencia sanitaria comenzó con Bismarck, el Canciller de Hierro con la creación en 1883 del Seguro de Enfermedad. En 1942 Beveridge publicó dos Libros Blan-

cos en los que propugnaba la intervención del Estado en la atención en Educación y en Salud a todas las personas, por el sólo hecho de serlo. Después de la II Guerra Mundial, los socialdemócratas y los democristianos del RU del que se excluyeron los neoliberales, acordaron crear un Estado de "Wellfare" según las ideas de Beveridge. En España el sistema de protección de los trabajadores con menos ingresos comenzó en 1952 con la Ley que creó el Seguro Obligatorio de Enfermedad, cuyos gastos se subvencionaban con aportaciones del Estado, de los trabajadores y de las empresas y cuya gestión la realizaban diversas entidades, especialmente el Instituto Nacional de Previsión creado en 1913, muchas de cuyas funciones sanitarias pasaron al Instituto Nacional de la Salud y luego a los de varias comunidades. Desde entonces el sistema se fue ampliando hasta convertirse, en la década de los ochenta bajo gobiernos socialistas en un sistema universal de Seguridad Social. La Ley General de Sanidad culmina el proceso creando el SISTEMA NACIONAL DE SALUD como el conjunto de los Servicios de Salud de la Administración del Estado y los de las Comunidades Autónomas y los Municipales. Actualmente el Sistema Nacional de Salud cuenta con 68.000 médicos, es decir 2,7 por cada 1.000 personas protegidas mas 2,8 enfermeros por cada 1000 personas, cifra insuficiente. El sistema atendió en 1996 diariamente a 70.000 consultas en atención primaria y al doble en especializada, a 9 millones de urgencias al año, más de dos millones de intervenciones quirúrgicas, de las que unas 2.500 fueran transplantes.

El Estado de Bienestar ha constituido un importante avance social librando a muchos de la pobreza y del infortunio ligado a la enfermedad, a la invalidez y a la muerte haciendo una sociedad mas justa y solidaria.

El Estado actual es un organismo productor de servicios, cuya actividad debe basarse en la eficiencia. El Estado se ha ido haciendo cargo, cada vez de forma mas excluyente del papel que tenía la actividad privada, tanto individual como la de las asociaciones. El gran protagonismo del Estado en el desarrollo de la protección de la salud –y en el de la educación- propio del "Estado de Bienestar" o como se le ha llamado "Estado benefactor" ha llevado a los que se pudiera llamar "el bienestar del Estado" dado el predominio, casi absoluto que el Estado se atribuye. Si la tendencia que llevó al Estado de Bienestar continúa, podria ser este subs-

tituido por el que pudiéramos llarnar "Estado de la Calidad de Vida" que se ocuparía de la felicidad de los ciudadanos, de que tengamos buen humor, de una adecuada ocupación del tiempo libre, etc.

IV. PROBLEMAS DE LA INTERVENCIÓN DEL ESTADO

1.º *Disminución de la libertad.* La intervención del Estado en la Salud de las poblaciones supone merma de libertad, no solo en cuanto a las acciones de policía, sino en las de fomento y muy especialmente cuando organiza servicios sanitarios, que aun cuando no sean monopolios, interfiere con las libertades de los ciudadanos.

La libertad sería la plena capacidad para el disfrute y el uso individual de los bienes que el trabajo y la estructura social (v.g. los bienes heredados, el salario concertado, la propiedad de medios de producción etc.) le han proporcionado.

Al hacerse el Estado garante de la prestación de servicios de Salud, el ciudadano tiende a desentenderse de esa preocupación. Arlindo de Carvalho, ministro de Salud portugués en la sesión inaugural de las Jornadas médicas de Figueira da Foz en 1992 dijo: "A errada ideia de imputar ao Estado toda a responsabilidade social tem de ser banida. O individuo nao pode colocar-se à margem do sistema ou remeter-se para uma posicao de indiferencia e passividade na expectativa ou na certeza de intervencao milagrosa do poder estatal"

La enfermedad, y en su caso el menoscabo de la salud, supone una disminución de la libertad. Cualquier enfermedad, en grado diverso según su duración gravedad y pronóstico merma la libertad del enfermo. Hay además procesos, digamos enfermedades como el alcoholismo, las dependencias incluida la nicotínica, la ludopatía, la utilización ilegítima de la sexualidad en los que la persona ha perdido su libertad o esta se ve constreñida por la fuerza de la libido. ¿tendría legitimidad el Estado que debe ser el principal garante de la libertad para ayudar, en estos casos, a las personas cercenando su libertad, para evitar que en uso de una libertad formal caigan en el abismo del alcohol, de la ludopatía o del sexo animal?. A un niño se le protege de caídas encerrándolo en

parques, porque no es capaz de tener una conducta correcta que le impida caerse. ¿No podría aplicarse el argumento para establecer límites a la libertad para aquellos conductas que merman la libertad como las drogas, el juego, la oferta pública de sexo, etc.?. Por otro lado las conductas individuales repercuten enormemente en la de los demás porque forman la base del juicio social sobre dichas conductas. Este juicio puede suponer el estimulo o bien el rechazo de conductas que van a formar el ambiente social en el que se educarán otros.

Hay que establecer el mejor compromiso entre la protección a la salud y la libertad y aquí subyace nuevamente un problema ético.

La responsabilidad en Salud del Estado, en aras de una mayor eficacia puede llevar a irrumpir en la libertad personal de un modo intolerable. Por ejemplo en China, las trabajadoras deben pedir permiso al Comité de Planificación familiar de su barrio y a la Oficina de Planificación familiar de su empresa para poder concebir y las que quedan embarazadas sin autorización son castigadas con multa de casi la tercera parte del salario anual, y con el despido, quedando a su cargo los gastos sanitarios de la atención de la madre y del niño. A partir de 1998 se están presentando querellas, algunas de las cuales se ganan, pero otras como la promovida por Sun Lili quién quedo embarazada sin haber pedido permiso a su empresa, que era un hotel, aunque sí al Comité del barrio, pese a que no tenía hijos y a que había tenido dos abortos fue desestimada al considerar el tribunal que Sun violó normas fundamentales de planificación familiar de Pekin y de los Trabajadores del Hotel originando serias consecuencias para la política familiar.

La creación de servicios sanitarios por parte del Estado, puede constituir una invasión del ámbito individual y carga al Estado con responsabilidades que en gran parte le debían ser ajenas y que necesariamente por su propia naturaleza, no pueden estar gestionadas con la misma eficacia que las actividad es individuales.

2.º *Perturbación de la relación médico-enfermo.* La base del ejercicio médico es la relación entre una conciencia (la del médico basada en su competencia profesional y en la dedicación al paciente) con la confianza del enfermo en su médico, aliñado todo ello con suficiente tiempo dedicado al enfermo. La silla, decía Marañón, es el más im-

portante instrumento médico. La alteración de la relación médico-enfermo determina merma de la eficacia del médico y la insatisfacción de los pacientes. El médico apenas dispone de tiempo para atender a su enfermo y este deposita más confianza en la técnica que en la persona y en el prestigio del médico. A esto se añade el conocimiento profundo que el paciente puede adquirir de su enfermedad quién dispone de Internet para su información, que por su interés explora a menudo, mientras que el médico debe distribuir su escaso tiempo libre, además de a su familia y a su ocio, a aprender más sobre las enfermedades de todos sus enfermos. Otra distorsión de la relación médico-enfermo es la aparente innovación de la llamada "Medicina basada en la evidencia", nueva enunciación, de las mismas bases de la medicina, pero que conlleva que detrás de cada decisión se disponga de un apoyo estadístico con desprecio del juicio, el "ojo clínico" se decía, del médico.

Otra consecuencia negativa es el aprovechamiento de los errores médicos reales o supuestos para obtener beneficios. Aún cuando es cierto que hay profesionales inexpertos- y habría que analizar la causa de esta falta de preparación o de dedicación (desmotivación , exceso de trabajo siempre sometido a presiones dada la gran responsabilidad de las decisiones médicas etc.), la llamada Medicina defensiva dispara los costes, obliga a intervenciones a menudo innecesarias para proteger la seguridad del médico, a realizar por ej. cesáreas innecesarias etc. En abril de 2000 pude observar enfrente del magnífico hospital "Nuestra Señora de la Arrixaca de Murcia, un local en el que campeaba un gran rótulo que rezaba "Agrupación de Víctimas de los Errores Médicos" El impacto negativo sobre la curación de los cientos de enfermos asistidos diariamente en ese hospital es mas negativa que si se dispersaran aerosoles de bacterias desde dicho hacia el Hospital.

3.º *Aumento del costo.* El desarrollo del Estado de Bienestar ha llevado a una explosión de los costos. La sanidad se financia en un 98% por medio de los impuestos generales que en 2000 superó los cuatro billones de pesetas, es decir el 13,2% de los Presupuestos Generales del Estado. Esta inversión, algo menor del 6% del PIB, es inferior a la media de lo que gastan los países de la Unión Europea. El aumento del gasto, en lo que se refiere a salud se debe a:

3.1. Aumento de la población. En el siglo XX la población mundial se cuatriplicó y se espera que para el 2030 se habrá duplicado.

3.2. Envejecimiento. La esperanza de vida al nacer y a cualquier edad ha aumentado espectacularmente. En los países desarrollados a principios de siglo apenas superaba los cuarenta años y actualmente pasa de los 75, y en las mujeres es mas de los 80. En el año 2000 en los países desarrollados la proporción de mayores de 65 años era del 13% y se estima que para 2020 será el 20%. Y aunque en menor medida sucede lo mismo en los países subdesarrollados. El hombre dispone, no ya de mas esperanza de vida, sino con una nueva etapa vital a que antes no tenía acceso. El aumento de la pervivencia, debido al saneamiento ambiental, a conductas saludables y en menor medida a la actividad sanitaria constituye un éxito social que estamos presenciando pero plantea por si mismo un efecto colateral negativo que hay que considerar. En el año 2050 se habrá triplicado la proporción de mayores de 85 años. Los ancianos padecen una polipatología, requieren tratamiento y atención continuos ocupan el doble de camas hospitalarias. Los ancianos no aumentan el gasto per cápita, el principal problema es el aumento de su número. Capitulo importante es el referido a la atención social del anciano tales como residencias, cuidados a domicilio etc. cada vez mas costosos cuanto mayor edad alcancen. Se ha calculado que los gastos sanitarios de Estados Unidos necesarios para las personas que mueren a los 65 años son unos 31.181 dólares mientras que los que se necesitan para los que fallecen a los 90 años sube a 200.000, especialmente por los gastos en las residencias.

Los ancianos, no aportan nada por los medicamentos que requieren.

3.3. Aumento de la proporción de protegidos por la SS. En 1970 la Seguridad Social protegía al 43% de los españoles, en 1990 llegó al 99% y actualmente es el 99,41%. La prestación sanitaria subió entre 1982 y 1989, siete millones de personas. La Ley de Extranjería aprobada en el año 2000 otorga a los inmigrantes, con pleno sentido de la equidad, las mismas prestaciones sociales que a los naturales sin que puedan existir razones en contra. Esto no obsta para que se requieran mas inversiones en sanidad y por tanto mas impuestos. La extensión de la cobertura de la atención de salud, a fin de eliminar todas las barreras

materiales y financieras que dificultan su acceso y utilización. A esto hay que añadir los 25.000 millones de pesetas anuales que gasta la sanidad pública en atender a ciudadanos de otros países europeos, frente a los 15.000 millones que generan los españoles fuera de España.

3.4. La extensión de las prestaciones de la SS, que cada vez son más numerosas y complejas.

3.5. La gratuidad determina consumos superfluos. La participación personal en los costos médicos, disminuye los incentivos para limitar su consumo.

3.6. Aparición de nuevos problemas de salud. Si bien se ha erradicado la viruela, y es previsible la de la poliomielitis y la del sarampión, en cambio las enfermedades de transmisión sexual aumentan mucho debido a la desaparición como valor de la abstinencia y de la fidelidad que hace que sean mas precoces y promiscuas las relaciones sexuales. Enfermedades, antes reducidas a pequeños nichos ecológicos como las encefalitis espongiformes, las encefalitis víricas, las nefropatías epidémicas o enfermedades nuevas como el sida se extienden, y surgen importantes problemas de convivencia como la soledad, el envejecimiento etc.

3.7. Los tratamientos de las enfermedades son cada vez mas eficaces y seguros, pero cada avance en ella supone un enorme gasto.

Ya se dispone de nuevos y eficaces medicamentos obtenidos por ingeniería genética y la terapia génica puede curar enfermedades como la hemofilia B mediante virus portadores de los genes alterados. Se han diseñado, y ya se producen vacunas altamente eficaces contra muchas infecciones incluso frente a procesos como la caries, la ateromatosis y hasta contra ciertos cánceres bastante eficaces. Se puede soslayar la esterilidad mediante la inseminación artificial aunque causa problemas importantes. La Inmunodeficiencia congénita se puede tratar administrando células y virus con los genes correctos. Se dispone de fármacos inteligentes que alcanzan directamente a las células blanco sin lesionar a las sanas lo que permite una gran actividad exenta de efectos colaterales desfavorables. Se pueden efectúar transplantes de células madre pluripotentes, reproducidas in vitro, para obtener las células deseadas. Si bien la clonación de seres humanos con fines reproductivos, es decir, para crear seres

humanos idénticos a su progenitor es inmoral y esta prohibida, el cultivo de células madre es decir indiferenciadas, pluripotentes, obtenibles de blastocitos de pocos días, es decir procedentes de un aborto, o bien de embriones no implantados en tratamientos de reproducción asistida (unos 30.000 en España), logrado en noviembre de 1998, permite conservar casi indefinidamente a células capaces de convertirse, mediante una estimulación especifica, en cualquier tejido humano tales como epidermis, hueso, músculo, cartílago, incluso en neuronas productoras de neurotransmisores para transplantarlos a centros nerviosos cuyas neuronas fueran deficitarias de ese neurotransmisor como por ejemplo neuronas dopaminérgicas en la sustancia nigra e incluso para formar órganos, que podrían utilizarse para reponer tejidos lesionados por quemaduras o por infartos, y servir como terapia en leucemias, Parkinson etc. Para que el tejido implantado no sea rechazado es preciso que proceda del mismo paciente, lo que podría conseguirse creando un embrión clónico a partir de alguna de las células del paciente y dejando que se desarrolle durante unos días. La experimentación con embriones humanos de unos días, sólo está prohibida en USA si se hace con fondos públicos. El descubrimiento de las potencialidades de las células madre fue hecho por profesores de una universidad pública, pero en una sección del laboratorio totalmente financiada con recursos privados. Se pueden obtener células pluripotentes tomando el núcleo de una célula somática del paciente transplantado a un óvulo al cual se le ha extirpado su núcleo (técnica usada en la clonación de la oveja Dolly y posteriormente en otras especies) y llevado a un medio nutricio, que pudiera ser un útero, durante unas dos semanas, hasta su conversión en blastocisto. Las células del blastocito pueden producir cualquier célula de nuestro organismo bajo los adecuados estímulos y permitirán hacer trasplantes celulares sin requerir inmunosuopresión. Mizukami, y cols. han logrado transplantar fragmentos de 1 mm^3 de ovarios procedente de mujeres muertas clínicamente, a ratonas de laboratorio que bajo el adecuado estímulo hormonal produjeron a los 15 días, en el 6% de los casos, óvulos humanos utilizables para ser fecundados in vitro para la fecundación asistida. Ya se ha logrado cultivar células productoras de dopamina y de serotonina

El Comité Científico asesor del Gobierno británico en materia de reproducción, consideró que la prohibición de la clonación humana con

fines reproductivos no tiene por qué extenderse a la que se realiza con fines terapéuticos, que en ningún caso culmina en un nuevo ser humano. En nuestro país, la Comisión Nacional de Reproducción Asistida parece también dispuesta a reconsiderar el problema a la luz de las nuevas posibilidades médicas.

Ya se dispone de "bombas inteligentes" que contienen una toxina asociada a la sustancia P, relacionada con el dolor, con lo cual eliminan específicamente el dolor crónico sin modificar la percepción de los agudos.

Otro futuro avance es la implantación de electrodos en el córtex para captar las señales electromagnéticas, que una vez amplificadas se llevan a un ordenador manejable por la propia persona. Este sistema permitirá que los tetrapléjicos caminen y que los hemipléjicos hablen. El desarrollo de los neurochips facilitará tratamientos basados en la implantación de esos miniordenadores. Aterra pensar que con esas técnicas se pueda llegar en el futuro a influir en el pensamiento y en el comportamiento de las personas. Los teléfonos movibles, de tercera generación, además de permitirnos la comunicación oral y visual, detectarán problemas de salud e incluso avisarán en caso de urgencia a los servicios asistenciales.

A medida que se van logrando mejoras en salud los recursos empleados en ella se hacen menos eficientes. Así es cada vez más difícil y costoso aumentar un poco la esperanza de vida.

3.8. Aumento de la demanda de una cada vez mayor salud debido a que se sabe que es posible tratar enfermedades, hace poco incurables, debido al desarrollo de la investigación biomédica, junto con la mayor percepción de la importancia de la salud y de la calidad de vida. Todo esto conduce a un aumento de la demanda de servicios asistenciales de alta calidad. Las necesidades en salud son inmensas y el aumento de la oferta determina una mayor demanda. Cada nuevo descubrimiento tecnológico conlleva una creciente demanda de su aplicación por parte de los médicos y de los pacientes.

4.º *Disminución de la asistencia familiar a enfermos incapaciatados y a ancianos.* La familia, especialmente el ama de casa, ayudada en

casos especiales por religiosas, ha ejercido tradicionalmente un importante papel en la asistencia hotelera y como auxiliar de clínica de los enfermos agudos y crónicos, de los niños, de los ancianos, de los minusválidos e incapacitados que eran atendidos en el hogar. Cada español dedica 34 jornadas laborales y cada española 42 al cuidado de esas personas en el hogar, lo que supone unas 640.000 jornadas de trabajo cada año. El 4% de las amas de casa atienden a un paciente más de 6 meses al año. Los cambios de la estructura familiar, van disminuyendo la atención familiar al sistema de salud. O bien se intenta volver a la familia tradicional, impensable actualmente, o hay que arbitrar mas recursos, tal vez la ayuda de voluntarios, y por supuesto con aumento del gasto, para sustituir a la familia.

5.º *Uso ilegítimo de los servicios de salud.* El Estado puede utilizar a la Salud Pública como una herramienta para sus propios fines que no tienen porque coincidir con los de las personas. Podríamos como ejemplo una política natalista para aumentar el poder militar del país o abortista para obtener un determinado número de votos o para disminuir el paro. En la China comunista se ha abolido el derecho personal a la procreación, la cual está totalmente controlada por el Estado. Se han utilizado servicios sanitarios para obtener armas químicas (laboratorios farmacéuticos) y bacteriológicos.

6.º *Disminución de la motivación del médico y en general de los saniarios.* El médico, funcionario sujeto a normas y reglamentos, se burocratiza, pierde su vocación de ayuda y cae en el llamado síndrome del burn-out caracterizado por agotamiento emocional, despersonalización, fracaso y anomia profesional y como consecuencia al absentismo, a retrasos en el trabajo con baja de la eficacia terapéutica y de la calidad asistencial. Es imprescindible motivar al médico y para ello dotarle de mas responsabilidad moral y menos legal, con mayores honorarios, como mínimo el de los jueces, pues requiere más formación y mas responsabilidad que la de éstos. Si la justicia es un valor social, más lo es la vida y el cometido sanitario.

V. MECANISMOS PALIATIVOS DE LA QUIEBRA DEL ESTADO DE BIENESTAR

El desequilibrio económico del Estado de Bienestar, que pese a sus inconvenientes debe persistir, requiere soluciones. Curiosamente hasta ahora ninguno de los Ministros de Sanidad han sido médicos.

Fueron los conservadores Bismarck, y Beveridge, y en España Dato y Girón de Velasco, quienes pusieron en marcha el Estado de Bienestar. El ideario liberal considera prioritaria la libertad, mientras que para el socialismo lo básico debe ser la igualdad. En Estados Unidos, Clinton no logró universalizar la asistencia médica. Paradójicamente les ha tocado a los socialistas transformar el Estado de Bienestar. En España la quiebra del Estado de Bienestar empezó en 1977. En el RU se está debatiendo actualmente su modelo y se piensa por muchos que el Estado no debe responsabilizarse de la asistencia a toda la población sino solamente de la de los más necesitados de ayuda social. Dada la gran carestía de la asistencia médica, toda la población necesita apoyo. En su libro "La tercera vía" Anthony Blair decía que: "El dogmatismo de la derecha neoliberal se había convertido en una grave amenaza para la cohesión nacional. Cada vez había más gente en el bando de los perdedores, más empresas con bajo rendimiento, demasiados servicios públicos con pobres prestaciones y demasiadas poblaciones en peligro por el aumento de la delincuencia, el desempleo y la marginación social. Blair se basa en que si se puede trabajar, se debe hacerlo y sólo si no puede tendría derecho a ayudas. "Los días de un derecho automático a algo-a-cambio-de-nada, tienen que desaparecer". En febrero de 2000 presentó Blair un proyecto de ley que reforma el Estado de Bienestar. En el se endurecen las condiciones para acceder a los subsidios obligatorios a los beneficiarios de ayudas, entre ellos a un millón de madres solteras y a 2,8 millones de discapacitados, a los que se obliga a someterse a entrevistas periódicas con asesores públicos, para confirmar que siguen teniendo derecho a ellas; limita el papel del Estado en las pensiones a proporcionar una pensión estatal básica a todos, que debe completarse con seguros privados, ayudando a los que no pueden suscribir las primas. En Francia se acaba de publicar un informe técnico en el que se afirma que será imposible seguir financiando el sistema de pensiones si

no se retrasa la edad de jubilación de 60 los a los 65 años. Los mecanismos podrían ser:

1.º *Aumentar la riqueza nacional.* Es decir el producto interior bruto, mediante el aumento de la productividad esencialmente basada en la tecnología (que pudiera ser contaminante). El Estado de Bienestar solo se concibe en una situación de prosperidad económica. Hay que tener en cuenta que, de acuerdo con el concepto de equidad universal los intercambios comerciales, importante renglón del PIB, no deben suponer que se hagan a expensas de la riqueza de otras naciones y grupos

2.º *Aumentar los ingresos para atender a las necesidades sanitarias.* Esta medida significa aumentar el trasvase de recursos privados al Estado. La aceptación de esta medida se logra con solidaridad, generosidad, amor al prójimo, etc. virtudes que se basan en ideales, fundamentalmente trascendentes. La formación religiosas constituiría así un pilar del Estado de Bienestar. El gasto sanitario español es bajo, solo el 5,6% del PIB, es decir es uno de los menores de la Unión Europea, correspondiendo el 20% al gasto farmacéutico del total, de modo que si se resta queda el 4,4% del PIB para los demás gastos sanitarios.

Los recursos económicos del Estado pueden proceder de bienes propios v.g. el petróleo, minas, industrias públicas etc. o conseguidos como botín de correrías, o de razzias, o por la guerra que han sido, y siguen siendo un modo de obtener recursos ajenos o por las arbitrarias exacciones de la época feudal, la requisa, la expropiación injusta, etc. reemplazados hoy por el colonialismo económico, que basado en la libertad de comercio, expolia bienes ajenos. Otro modo de obtener ingresos por parte del Estado es mediante préstamos especialmente cuando se trata de financiar gastos extraordinarios (recordemos el préstamos que consiguió el Cid para su expedición a Valencia, en cuya garantía dejó un arca con arena o que Isabel la Católica, empeñó sus joyas para financiar la aventura de Colón, a los Fúcar, y actualmente se pide ayuda al Fondo Monetario Internacional o se acude al préstamo de los ciudadanos mediante la Deuda Pública). Carlos V entre 1523 a 1556 además del quinto de los metales preciosos secuestraba o cambiaba por deuda pública, que en realidad era papel mojado, gran parte del oro americano

propiedad de particulares que llegaba a Sevilla para financiar sus empresas europeas según García Baquero.

En los países desarrollados el Estado obtiene sistemáticamente recursos, aparte de las posibles donaciones, de los impuestos que deben pagar los ciudadanos, constituyendo una obligación y hasta un derecho que hace pasar al súbdito de ser un simple beneficiario pasivo a ser ciudadano que participa de forma activa en los fines del Estado de acuerdo con su capacidad económica. El Estado de Derecho determinó que la imposición de tributos no se efectuara según criterios personales, que llevaban a la arbitrariedad y a la injusticia, que favorecían a los que establecían esos criterios y cargaba con impuestos a los mas desfavorecidos pues como señalaron los procuradores que asistieron a las Cortes convocadas por Carlos I en 1518, "que muchos labradores pecheros ganen privilegios y sean habidos fidalgos y no pechen, lo que es muy grave daño de los pueblos, porque todo aquello que aquél no pague, que es el más rico del lugar, carga sobre los pobres". Ya Adam Smith, en su "Investigación sobre la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones" publicada en 1776, mantenía que los "súbditos deben contribuir al sostenimiento del Gobierno con la cantidad más adecuada a sus capacidades."

Actualmente los españoles destinan anualmente el fruto del trabajo de 179 días a pagar sus impuestos, quedándoles disponibles 185 días. La aportación media en la UE es de 208 días -en Bélgica 241 días - mientras que en Australia son 151 días, en Turquía 148 días, en Estados Unidos 138 días, en Nueva Zelanda 135 días, y en Japón 126 días). Históricamente han dejado de pagarse impuestos como reacción ante el tirano, por consideraciones de que con dicho impuestos se iban a financiar acciones inmorales como el aborto o la guerra es decir por objeción de conciencia. Ya en el año 1.500 el padre Suárez, se ocupó de los aspectos éticos de la evasión fiscal. Actualmente las principales razones para la evasión es la gran proporción de la renta familiar que debe dedicarse a las cargas del Estado, el conocimiento de la corrupción, de la mala administración y del despilfarro

3.º *Mejorar la gestión.* La gestión, es decir el proceso de planificar, organizar, ejecutar y controlar los recursos debe mejorarse. Esta

medida lógica, obvia e imprescindible por ética social, es alegada por todos los grupos y partidos en gran parte porque su enunciación es demagógica. Es necesario utilizar métodos eficaces y baratos es decir eficientes en el diagnóstico, en el tratamiento (cirugía ambulatoria, uso de técnicas laparoscópicas etc. y en la gestión (hospitales de día, coordinación de los servicios hospitalarios con los de la atención primaria, aumento de la prescripción de genéricos, que en España es sólo el 3% del gasto farmacéutico público, mientras que en USA alcanza el 78% del gasto farmacéutico federal, etc.) No debe utilizarse al médico como cómplice en la disminución del gasto, por ejemplo primando a quién receta poco o una gran proporción de genéricos, sino estimulando su responsabilidad. Entre esas medidas se plantean la de ampliar los horarios, de los centros asistenciales (en los Hospitales el horario normal es de 8 a 15) duplicando los equipos para aprovechar el instrumental. Hay que tener en cuenta que un hospital no es una fábrica, y que tanto los enfermos, como el personal y hasta el espacio, necesitan reposo. La duplicación de los equipos no supone la duplicación de la actividad, sino bastante menos. Forma parte de una buena gestión el empleo de envases clínicos, los genéricos, la limitación de la prescripción sólo a aquellos medicamentos con clara utilidad terapéutica. Curiosamente el llamado "medicamentazo" fue introducido por un Gobierno socialista, pero luego, fue completado en 1998 por el Partido Popular. Tememos que esta medida no dé los resultados esperados y además es mal aceptado por los médicos y por los pacientes. La gestión debe proporcionar servicios rápidos, personalizados y eficaces.

4.º *Aprovechar los recursos de la asistencia privada.* Los fines del Estado en salud pueden resumirse en proteger el derecho a la Salud de forma equitativa y eficiente. Esto se puede lograr a través de la financiación de servicios privados, cuya gestión puede ser mas eficiente. La sanidad privada se rige por el lucro, y puede estar sometida a la libre competencia mientras que necesariamente toda acción estatal requiere un control y control de controles, lo que lleva a la burocratización, al reglamentismo, etc. pero si se aflojan los controles se facilita, como se ha confirmado en la reciente historia de España, la corrupción y el cohecho. Por razones ideológicas, políticas y de eficiencia, el Estado debe tender a un sistema asistencial único evitando duplicaciones y

haciendo desaparecer sistemas alternativos, que pudieran servir para amortiguar criterios diferentes y ser mas adecuados para ciertas personas. Esta uniformidad permite el control y la evaluación. El exceso de organización lleva a la rigidez y por tanto a la ineficacia. Creo que fue Julián Marías, quién contestó a un interlocutor asombrado por la desorganización del ejército de D. Rodrigo en la Janda, que se derrumbó por una simple derrota, que precisamente la catástrofe se debió a un exceso de organización que dejó sin respuesta la batalla perdida. Un justo equilibrio entre ambas seria deseable. La Sanidad pública ha descapitalizado a la privada en cuanto a recursos y sobre todo de enfermos. El monopolio propio del Estado de bienestar lo hace casi sinónimo de "Estado dilapidador".

Casi todos los Gobiernos europeos, movidos por presiones del Banco Mundial y por la Organización Mundial del Comercio, desean privatizar la sanidad según indicaron en octubre de 2000 Tudior, profesor de la Universidad de Glamorgan, en Gales, y Fisher, presidente de la Asociación de Consultores del National Heart Service.

Actulmente se ensaya la gestión de los hospitales públicos por Fundaciones, a semejanza del sisterna iniciado en el RU hacia 1990, con la finalidad de mejorar la gestión. Habrá que esperar para evaluar los resultados, pero pensamos que los asuntos públicos tienen una concepción, una financiación, un régimen de selección de personal y del estatuto de los profesionales, del sistema de evaluación y de control de su funcionamiento diferente de la de los privados. La mezcla de ambas, aunque la idea sea bien intencionada, no tiene, a nuestro juicio, demasiado futuro.

5.º *Establecimiento de prioridades y limitaciones.* La asimilación de la salud al bienestar es, a mi juicio, incorrecta, pues aunque sin salud no hay bienestar la ausencia de este no significa necesariamente mala salud. La asimilación de salud con bienestar que hizo Stampar y que figura, nada menos, que en el Preámbulo de la Constitución de la OMS llevaría a incluir como necesidades sanitarias, la calvicie, la impotencia, la figura personal, la adscripción a un sexo, etc. que por tanto estarían incluidos en el derecho a la salud. Sin poner en duda la existencia de necesidades de este tipo pensamos que no deben ser consideradas como

prioritarias, si hay otras mas cerca de las necesidades vitales sin satisfacer como pudiera ser la asistencia odontológica no cosmética. Si con la excusa o la coartada del bienestar se le piden al Estado inversiones que no van dirigidas a evitar ni a curar enfermedades, sino a solucionar otros problemas, aunque causen malestar y tensión; la quiebra del sistema se convertirá en ruina, además de obligar a la medicina a relegar actividades mas propias como las que han constituido siempre su quehacer, prevenir, curar y aliviar. Me parece perfectamente legítimo que los calvos deseen tener pelo, que los morenos puedan ser rubios, que las personas de raza negra pueden tener piel con poca melanina, que los impotentes puedan recuperar su función eréctil y que los transexuales sean operados etc. Incluso cabe considerar que el no lograrlo puede causar tensiones y frustraciones que pueden repercutir en su salud somática y psíquica. Quién tiene la frustración de no ser alto y guapo es posible que sufra y que tenga alteraciones de su personalidad; el poseer un Modigliani podría compensar el ego pero no se puede por ello exigir al Estado que le compre uno. En el presupuesto de Andalucía para el año 2.000 se incluyen 600 millones de ptas. para el tratamiento de 12 mujeres y de 43 varones que pretenden cambiar de sexo. El costo de cada operación oscila entre los 500.000 a los 3 millones. En este orden de cosas, bajo el único prisma de las prioridades no pude anteponerse el derecho al bienestar al derecho a la vida de otros como se ha admitido en el tema del aborto. Así pues consideramos necesario establecer límites en los procesos a atender.

El Gobierno socialista estableció un nivel máximo para las pensiones, pese a que hubiera derecho a cifras superiores, con el argumento de la solidaridad entre los retirados. ¿No debería haberse establecido con todos los ciudadanos que perciben ingresos? ¿Dónde establecer el límite?

Bajo el prisma de las prioridades puede aceptarse que se releguen intervenciones en personas que por su conducta puede preverse que van a poner en riesgo el buen resultado de las mismas. Por ejemplo un transplante hepático en un alcohol dependiente como hemos señalado. El National Health System del RU no considera prioritario trasplantar a estos pacientes dada la escasez de donaciones de hígado. En este mismo año 2000 George Best ídolo del fútbol inglés de los años sesenta, retirado a los 26 años por alcoholismo, desarrolló una cirrosis. Incluso su

mujer declaró: "Cuando alguien ha destruido su propio hígado, los médicos no son favorables a darle uno nuevo".

6.º *Participación del paciente en los gastos.* Cuando no se participa en el gasto, la demanda excede a la oferta, por grande que ésta sea y no se valora en lo que vale y en lo que cuesta. La participación favorece una actitud responsable del paciente en el proceso de su curación y actúa de forma "educativa" racionalizando el gasto, especialmente el farmacéutico.

Esta medida popularmente llamada "copago" supone una quiebra del principio de la solidaridad que pretende eliminar la carga económica que la enfermedad supone, gravando a los enfermos.

Salvo los pensionistas de la Seguridad social , no los atendidos por sociedades, los españoles sufragan el 40% de los gastos de farmacia para enfermedades no crónicas. La Ley de Servicios Sociales de Canarias posibilita la contribución de los usuarios en la financiación de determinadas prestaciones, estableciendo tasas o bonificaciones en función de la renta familiar.

En Alemania el pago por el paciente depende del tamaño del envase y de los ingresos de la persona (lo cual favorece el fraude).

Por otro lado esta participación aumenta la burocracia; requiere diversos tipos de recetas y documentos y conlleva gastos tal vez superiores al presunto ahorro que la medida pretende.

7.º *Intensificar la prevención.* Especialmente en la asistencia primaria. Ejemplo de su deficiencia es que sólo el 22% de las personas que se beneficiarían de la vacunación antineumocócica están vacunadas.

8.º *Promover la educación sanitaria.* En la prevención de la enfermedad y en la participación en la curación son de gran relevancia las conductas y las decisiones personales Conseguir conductas, estilos de vida y hábitos saludables es una misión de la Educación sanitaria.

Cada vez es mas factible aconsejar de acuerdo con las susceptibilidades personales las limitaciones a la conducta en cuanto a dieta, ejercicio, uso de tabaco, alcohol, tensiones etc. Es posible identificar la presencia

de genes codificadores de proteínas relacionadas con la patogenia de una enfermedad. Se podrá decir, por ejemplo a una persona que si fuma tendrá una determinada probabilidad de tener un cáncer de pulmón.

Por otro lado la Educación sanitaria procura la participación responsable en el proceso de curación, confiando y colaborando con el médico y siendo consciente de las inversiones que, con independencia de lo que el haya aportado, la sociedad le está proporcionando.

9.º *Hacer que sea el paciente el eje de la asistencia.* Esto supone que el enfermo tenga acceso directo e inmediato a la atención sanitaria, que se establezca una adecuada relación médico-enfermo; que disponga de la información clínica relevante apoyado por la tecnología de la información a través del correo electrónico o del "web" interactuando con su médico y participando en las decisiones clínicas.

10. *Mejora de la formación y de las condiciones de trabajo del médico.* Con ellas se evitaría por ejemplo la prescripción de antibióticos en infecciones víricas o errores médicos en cuya génesis interviene la insuficiente formación y la desmotivación. Se estima que los errores médicos evitables causan el 3,7% de las hospitalizaciones en USA.

Hay que incentivar al médico, disminuir su carga asistencial tan estresante y aumentar las horas de estudio de los avances científicos y de las situaciones de sus pacientes.

11. *Listas de espera.* No se deben considerar soluciones a acciones que maquillen fracasos del sistema. Las listas de espera para exploraciones e intervenciones representa un medio de limitar las prestaciones y de disuadir a algunos de ser atendidos por el Sistema de Salud, pero es un medio perverso pues pone en riesgo la vida de los pacientes (retraso en mamografías, TAC, ecografías, intervenciones etc.) y en cualquier caso, aumenta la ansiedad ante los posibles resultados adversos. Romay, ministro del PP presentó como logro la reducción en el territorio del Insalud de los tiempos de espera de 210 a 61 días de demora media, pero evidentemente no deben existir demoras en las actuaciones médicas, cuya eficacia no es cuantificable en términos económicos. Varios cirujanos han manifestado recientemente que se han producido muertes en personas que esperaban una intervención coronaria.

Acuerdos y Protocolos Internacionales sobre el Derecho a la Salud

Viñes señaló que "El derecho a la salud no tiene un marco jurídico definido ni a nivel mundial ni nacional. Debe concretarse en cada país y época para que sea un derecho real y no solo formal".

La Constitución de la República francesa de 1793 nacida de la Revolución, se inicia con la "Declaración de los Derechos del Hombre y del Ciudadano", la cual recoge los derechos naturales aclarando que la seguridad "consiste en la protección otorgada por la sociedad a cada uno de sus miembros para la conservación de su persona, de sus derechos y de sus propiedades" es decir, que no expresa derechos sociales y menos aún el de la salud aunque en el art. 21 se expresa que "La beneficencia pública es una deuda sagrada. La sociedad debe asegurar la subsistencia a los ciudadanos, bien proporcionándoles trabajo, sea garantizando los medios de existencia a los que están incapacitados para trabajar. Con objeto de evitar la transmisión internacional de enfermedades y sobre todo para limitar las trabas al comercio impuestas por aquellas razones se celebraron conferencias sanitarias internacionales, siendo la primera la celebrada en París en 1851. En ellas se hace referencia a la Declaración de Derechos del Hombre.

Por eso, en las 75 Constituciones que hacen referencia a la salud varían mucho al concretar como se va a proteger a la salud (algunas consideran derecho los reconocimientos anuales , otras la disposición de antipalúdicos, etc.).

La "Declaración de Independencia de los Estados Unidos (1776) y la Declaración de Derechos del Estado de Virginia constituyen los dos primeros documentos que reconocen los derechos humanos.

La Organización de Estados Americanos en su IX Conferencia Internacional celebrada aprobó en Bogotá entre el 30 de marzo y el 2 de mayo de 1948 con base a su Carta constitutiva ,la "DECLARACIÓN AMERICANA DE LOS DERECHOS Y DEBERES DEL HOMBRE". En ella se estableció:

Art. 1.º Todo ser humano tiene derecho a la vida, a la libertad y a la seguridad de su persona.

Art. 6.º Toda persona tiene derecho a constituir una familia.

Art. 7.º Toda mujer en estado de gravidez o en época de lactancia, así como todo niño, tienen derecho a protección, cuidados y ayuda especiales.

Art. 11. Toda persona tiene derecho a que su salud sea preservada por medidas sanitarias y sociales, relativas a la alimentación, el vestido, la vivienda y la asistencia médica, correspondientes al nivel que permitan los recursos públicos y los de la comunidad.

Art. 14. Toda persona tiene derecho al trabajo en condiciones dignas.

Art. 15. Toda persona tiene derecho a descanso, a honesta recreación y a la oportunidad de emplear útilmente el tiempo libre en beneficio de su mejoramiento espiritual, cultural y físico.

Art. 16. Toda persona tiene derecho a la seguridad social, que le proteja contra las consecuencias de la desocupación, de la vejez y de la incapacidad que, proveniente de cualquier otra causa ajena a su voluntad, la imposibilite física o mentalmente para obtener los medios de subsistencia.

El Capítulo 2º se refiere a "deberes". El artículo 35 proclama que "toda persona tiene el deber de cooperar con el Estado y con la comunidad en la asistencia y seguridad sociales".

VI. DECLARACIÓN UNIVERSAL DE LOS DERECHOS HUMANOS

Tiene como antecedentes la Conferencia de Moscú de 1943 para combatir los crímenes contra la humanidad que se habían cometido durante la segunda guerra mundial, la Carta de la Organización de las Naciones Unidas o Carta de San Francisco ya que fué aprobada en la Conferencia que en esa ciudad se celebró entre el 25 de abril y el 26 de junio de 1945 y la Constitución de la OMS.

La promulgación de la Carta de las Naciones Unidas supuso una nueva actitud para establecer un nuevo orden económico, exaltando los

ideales humanitarios e incluyendo los medios para garantizar la paz y satisfacer las necesidades en un clima de relaciones positivas entre los hombres, para extirpar del mundo la esclavitud social y económica. En su Preámbulo se proclama la fe en los "derechos fundamentales del hombre y en la dignidad y el valor de la persona humana. El artículo 55 incluye entre los fines de la ONU, el desarrollo y estímulo del respeto a los derechos humanos y a las libertades fundamentales". La Carta de San Francisco establecía que la salud era una cuestión fundamental de la que debía ocuparse la ONU y preveía el establecimiento de un organismo especializado, la Organización Mundial de la Salud cuya Constitución fue aprobada por la Conferencia Internacional de la Salud, reunida en Nueva York del 19 de junio al 22 de julio, de 1946, organización que empezó a funcionar el 7 de abril de 1948.

Basada en la Carta, la Asamblea General de las Naciones Unidas aprobó en París, el 10 de Diciembre de 1948 la "Declaración Universal de los Derechos Humanos." por 48 votos a favor, y seis abstenciones de los países socialistas, Arabia Saudita y Sudáfrica sin ningún voto en contra, redactada por una Comisión del Consejo Económico y Social de la ONU en 1946. En el borrador preparado por la Secretaría de la Comisión de Derechos Humanos, decían textualmente: «Todos los individuos tienen derecho a la asistencia médica. El Estado tiene el deber de proteger la salud y la seguridad públicas.» y «Todos los individuos tienen derecho a una buena alimentación, a una vivienda adecuada y a la vida en condiciones gratas y saludables». Los artículos relacionados son:

Art. 3.º Todo individuo tiene derecho a la vida, a la libertad y a la seguridad de su persona.

Art. 5.º Nadie será sometido a torturas ni a penas o trabajos crueles, inhumanos o degradantes.

Art. 16. Los hombres y las mujeres, a partir de la edad núbil, tienen derecho, sin restricción alguna por motivos de raza, nacionalidad o religión, a casarse y fundar una familia.

Art. 22. Toda persona, como miembro de la sociedad, tiene derecho a la seguridad social y a obtener, mediante el esfuerzo nacional y

la cooperación internacional, habida cuenta de la organización y los recursos de cada Estado, la satisfacción de los derechos económicos, sociales y culturales indispensables a su dignidad y al libre desarrollo de su personalidad.

Art. 23.1. Toda persona tiene derecho al trabajo..., a condiciones equitativas y satisfactorias de trabajo y a la protección contra el desempleo.

Art. 23.3. Toda persona que trabaja tiene derecho a una remuneración equitativa y satisfactoria que le asegure, así como a su familia, una existencia conforme a la dignidad humana, y que será completada, en caso necesario, por cualesquiera otros medios de protección social.

Art. 24. Toda persona tiene derecho al descanso.

Art. 25.1. Toda persona tiene derecho a un nivel de vida adecuado, que le asegure, así, como a su familia, la salud y el bienestar y en especial la alimentación, el vestido, la vivienda, la asistencia médica y los servicios sociales necesarios; tiene asimismo derecho a los seguros en caso de desempleo, enfermedad, invalidez, viudez, vejez u otros casos de pérdida de sus medios de subsistencia por circunstancias independientes de su voluntad.

Art. 25.2. La maternidad y la infancia tienen derecho a cuidados y asistencia especiales.

Ahora bien, las Declaraciones constituyen simplemente Derecho objetivo no tiene fuerza vinculante ni confiere a los individuos ni a las naciones la facultad de exigir (Derecho subjetivo). Por ello se encargó a la Comisión de Derechos Humanos de la ONU en 1951 que redactan documentos que dieran fuerza jurídica para que fueran cumplidos los principios de la Declaración de Derechos humanos. Después de mas de diez años de discusiones el 16 de Diciembre de 1966, la Asamblea General adoptó dos Convenios (convenants) o Pactos internacionales, el de los Derechos civiles y políticos y el de los Derechos económicos, sociales y culturales. Estos pactos fueron adoptados por la Asamblea general de las Naciones Unidas, el 16 de diciembre de 1966, y entrados en vigor en 1976, después de su ratificación por cuarenta Estados. El Pacto Internacional de los Derechos Civiles y Políticos fue firmado

en Nueva York el 19 de diciembre de 1966, para entrar en vigor a medida de las ratificaciones de los miembros. Entre sus artículos destacamos:

Art. 6.º 1. El derecho a la vida es inherente a la persona humana. Este derecho estará protegido por la ley. Nadie podrá ser privado de la vida arbitrariamente.

Art. 6.º 5. No se impondrá la pena de muerte por delitos cometidos por personas de menos de dieciocho años de edad ni se aplicará a las mujeres en estado de gravidez.

Art. 7.º 1. Nadie será sometido a torturas, penas o tratos crueles, inhumanos o degradantes. En particular, nadie será sometido sin su libre consentimiento a experimentos médicos o científicos.

Art. 17. Nadie será objeto de injerencias arbitrarias o ilegales en su vida privada.

Art. 19. Nadie podrá ser molestado a causa de sus opiniones. Toda persona tiene derecho a la libertad de expresión; este derecho comprende la libertad de buscar, recibir y difundir informaciones e ideas de toda índole. El ejercicio de este derecho entraña deberes y responsabilidades. Por consiguiente puede estar sujeto a ciertas restricciones fijadas por la ley y ser necesarias para la protección de la salud.

Art. 23.2. Se reconoce el derecho del hombre y de la mujer a contraer matrimonio y a fundar una familia si tiene edad para ello.

Art. 24.1. Todo niño tiene derecho a las medidas de protección que su condición de menor requiere.

EL PACTO INTERNACIONAL DE DERECHOS ECONÓMICOS, SOCIALES Y CULTURALES. Se firmó simultáneamente al Pacto Internacional de los Derechos Civiles y Políticos, en Nueva York el día 16 de diciembre de 1966.

Art. 7.º Toda persona tiene derecho al goce de condiciones de trabajo equitativas y satisfactorias que le aseguren en especial: a) condiciones de existencia dignas para ellos y sus familias; b) la seguridad y la higiene en el trabajo; c) el descanso, el disfrute del tiempo libre, la limitación razonable de las horas de trabajo y las vacaciones periódicas.

Art. 9.º Los Estados, partes en el presente pacto reconocen el derecho de toda persona a la Seguridad Social, incluso al seguro social.

Art. 10. Los Estados, partes en el presente acto, reconocen que:.. 2) se debe conceder especial protección a las madres durante un periodo de tiempo razonable antes y después del parto; 3) se deben adoptar medidas especiales de protección y asistencia en favor de todos los niños y adolescentes y protegerles contra la explotación económica y social. Su empleo en trabajos nocivos para su moral y salud, o en los cuales peligre su vida o se corra el riesgo de perjudicar su desarrollo normal, será sancionado por la ley. Los Estados deben establecer también límites de edad por debajo de los cuales quede prohibido y sancionado por la ley el empleo a sueldo de mano de obra infantil.

Art. 11. Los Estados, partes en el presente pacto reconocen el derecho de toda persona a un nivel de vida adecuado.

Art. 12. Los Estados, partes en el presente pacto reconocen el derecho de toda persona al disfrute del mas alto nivel posible de salud fisica y mental.

El conjunto de estos documentos constituyen la Carta Internacional de los derechos del hombre completada por acuerdos más específicos, adoptados por otras organizaciones internacionales, siendo de destacar la Convención europea de los derechos del hombre y de las libertades fundamentales, aprobada el 4 de noviembre de 1950, en Roma, por el Consejo de Europa.

VII. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD

El derecho a la salud fue proclamado, en 1946, en el Preámbulo de la Constitución de la Organización Mundial de la Salud, que proclama que «La posesión del mejor estado de salud de que se es capaz constituye uno de los derechos fundamentales de todo ser humano, sean cuales sean su raza, su religión, sus opiniones políticas, su condición económica o social». La Asamblea mundial de la salud, de 1970 reafirmó categóricamente, en su resolución OMS 23.41, que «el derecho a la salud es un derecho fundamental del ser humano». La Conferencia Internacional

reunida por la OMS, en 1978, en Alma-Ata, reafirmó que la salud, de acuerdo con la definición de su preámbulo es un derecho fundamental del ser humano, y que la accesión al nivel de salud más elevado posible es un objetivo social extremadamente importante que interesa al mundo entero y supone la participación de numerosos sectores socio-económicos distintos al de la salud.

VIII. CONVENCIÓN AMERICANA SOBRE DERECHOS HUMANOS

La Resolución VII de la Conferencia de Chile de 1959 encargó al Consejo Interamericano de Jurisconsultos, la preparación sobre el modelo de la Convención Europea de Derechos Humanos, un proyecto semejante. Comenzó a trabajar la comisión en 1960 y el 22 de noviembre de 1969 se adoptó en San José de Costa Rica la Convención Interamericana de Derechos Humanos y aprobada en la Conferencia de San José de Costa Rica el 7 de abril de 1970. En su articulado sobresale

Art. 4.º Derecho a la vida. Toda persona tiene derecho a que se respete su vida. Este derecho estará protegido por la ley y, en general, a partir del momento de la concepción. Nadie puede ser privado de la vida arbitrariamente.

Art. 5.º Derecho a la integridad personal.

1. Toda persona tiene derecho a que se respete su integridad física, psíquica y moral.

2. Nadie puede ser objeto de injerencias, penas o tratos crueles, inhumanos o degradantes.

Art. 11. Protección de la honra y de la dignidad. Toda persona tiene derecho al respeto de su honra y al reconocimiento de su dignidad. Nadie puede ser objeto de injerencias arbitrarias o abusivas en su vida privada.

Art. 17. Protección a la familia. Se reconoce el derecho del hombre y la mujer a contraer matrimonio y a fundar una familia si tienen la edad y las condiciones requeridas.

Art. 19. Derecho del niño. Todo niño tiene derecho a las medidas de protección que su condición de menor requieren.

Art. 26. Desarrollo progresivo. Los Estados partes se comprometen a adoptar providencias para lograr la plena efectividad de los derechos que se deriven de las normas económicas, sociales y sobre educación, ciencia y cultura, contenidas en la carta de la Organización de los Estados Americanos, reformada por el protocolo de Buenos Aires, en la medida de los recursos disponibles.

Es evidente la coincidencia fundamental de todos los textos internacionales en cuanto a los derechos humanos, aunque existen notables diferencias en cuanto al énfasis y puntualización de algunos y la omisión de referencias concretas a otros, como sucede frecuentemente respecto a la salud y, sobre todo, al derecho a la asistencia sanitaria, sobre todo en cuanto aparece como corolario del trabajo o de la condición económicamente débil del hombre. (Las Convenciones del Consejo de Europa, y la Americana, que en sus textos fundamentales prestan primordial atención a los derechos políticos). El derecho a la salud se configura con bastante mayor perfección en algunos textos constitucionales nacionales como por ejemplo, la Constitución italiana vigente.

En el cuadro de las Naciones Unidas, y siguiendo la línea de la Convención Europea de Derechos Humanos, han surgido a partir de 1959 diversas convenciones regionales de los derechos del hombre: para África, en 1961; para la Europa socialista, en 1963; para la Commonwealth, en 1964, y para Asia en 1965. Los resultados han sido muy dispares. De cualquier modo es unánime, aunque en forma mas o menos detallada, la consagración de los derechos a la vida y a la salud.

En el plano regional la Organización de Estados Americanos en la IX Conferencia Internacional Americana aprobó algo antes de la Declaración Universal, en su Reunión de Bogotá del 30 de marzo al 2 de mayo de 1948 con base a su Carta constitutiva, la "DECLARACIÓN AMERICANA DE LOS DERECHOS Y DEBERES DEL HOMBRE". En ella se puede leer:

Art. 1.º Todo ser humano tiene derecho a la vida, a la libertad y a la seguridad de su persona.

Art. 6.º Toda persona tiene derecho a constituir una familia.

Art. 7.º Toda mujer en estado de gravidez o en época de lactancia, así como todo niño, tienen derecho a protección, cuidados y ayuda especiales.

Art. 11. Toda persona tiene derecho a que su salud sea preservada por medidas sanitarias y sociales, relativas a la alimentación, el vestido, la vivienda y la asistencia médica, correspondientes al nivel que permitan los recursos públicos y los de la comunidad.

Art. 14. Toda persona tiene derecho al trabajo en condiciones dignas.

Art. 15. Toda persona tiene derecho a descanso, a honesta recreación y a la oportunidad de emplear útilmente el tiempo libre en beneficio de su mejoramiento espiritual, cultural y físico.

Art. 16. Toda persona tiene derecho a la seguridad social, que le proteja contra las consecuencias de la desocupación, de la vejez y de la incapacidad que, proveniente de cualquier otra causa ajena a su voluntad, la imposibilite física o mentalmente para obtener los medios de subsistencia.

El Capítulo 2.º se refiere a "deberes". El artículo 35 proclama que "toda persona tiene el deber de cooperar con el Estado y con la comunidad en la asistencia y seguridad sociales".

En el plano regional es de destacar la Carta Social Europea que garantiza los derechos políticos, es decir los económicos y los sociales. Fue aprobada en Turín el 18 de Octubre de 1961 y entró en vigor en 1965.España se adhirió en 1976.

En su primera parte, DERECHOS Y PRINCIPIOS, se dice:

3. Todos los trabajadores tienen derecho a la seguridad y la higiene en el trabajo.

7. Los niños y los adolescentes tienen derecho a una protección especial contra los peligros físicos y morales a que están expuestos.

8. Las trabajadoras en caso de maternidad y las demás trabajadoras en casos apropiados, tiene derecho a una protección especial en su trabajo.

11. Toda persona tiene derecho a beneficiarse de cuantas medidas le permitan gozar del mejor estado de salud que pueda alcanzar.

12. Todos los trabajadores y sus herederos tienen derecho a la Seguridad Social.

13. Toda persona desprovista de suficientes recursos tiene derecho a la asistencia social y médica.

15. Toda persona inválida tiene derecho a la formación profesional y readaptación profesional y social, cualesquiera que sean el origen y la naturaleza de su invalidez.

17. La madre y el niño, independientemente de la situación matrimonial y de las relaciones de familia, tienen derecho a una protección social y económica apropiada.

19. Los trabajadores migrantes nacionales y sus familias tienen derecho a la protección y a la asistencia en el territorio de cualquier otra parte contratante.

Ahora bien, las Declaraciones constituyen simplemente Derecho objetivo, no tiene fuerza vinculante ni confiere a los individuos ni a las naciones la facultad de exigir (Derecho subjetivo). Por ello se encargó a la Comisión de Derechos Humanos de la ONU, en 1951, que redactaran documentos que dieran fuerza para que fueran cumplidos los principios de la Declaración de Derechos Humanos. Después de más de diez años de discusiones, el 16 de diciembre de 1966 la Asamblea General adoptó dos Convenios o Pactos internacionales, el de los Derechos civiles y políticos y el de los Derechos económicos, sociales y culturales.

«Con el fin de asegurar el ejercicio efectivo del derecho a la protección de la salud, las partes contratantes se comprometen a tomar, sea directamente, sea en cooperación con las organizaciones públicas y privadas, medidas apropiadas tendentes netamente: 1. A eliminar, en la medida de lo posible, las causas de una salud deficiente; 2. A prever servicios de consulta y de educación y el desarrollo del sentido de la

responsabilidad individual en materia de salud; 3. A prever, en la medida de lo posible, las enfermedades epidémicas, endémicas profesionales y del otra índole.

La *Convención o Pacto europeo par la salvación de los derechos del hombre y de las libertades fundamentales* que protege los derechos civiles y políticos. Fue firmada por la totalidad de sus dieciocho miembros excepto por Suiza en Roma el 4 de noviembre de 1950 y entró en vigor el 3 de septiembre de 1953. España se adhirió en 1976. En dicho Pacto se dice:

Art. 2.º 1. El derecho de toda persona a la vida está protegido por la ley. La muerte no puede ser infligida intencionadamente a nadie, salvo en ejecución de una sentencia de pena capital pronunciada por un tribunal, en el caso en que el delito sea castigado con esta pena por la ley.

Art. 2.º 2. La muerte no se considerará infligida con infracción del presente artículo cuando se produjera a consecuencia de un recurso a la fuerza que sea absolutamente necesario; a) Para asegurar la defensa de cualquier persona contra la violencia ilegal; b) Para efectuar una detención legal o para impedir la evasión de una persona detenida legalmente; c) Para reprimir, de conformidad con la ley, una revuelta o una insurrección.

Art. 3.º Nadie puede ser sometido a tortura ni a pena o tratamientos inhumanos o degradantes.

Art. 2.º 1. Toda persona tiene derecho a la libertad de expresión. El presente artículo no impide que los Estados sometan a las empresas de radiodifusión, de cinematografía o de televisión a un régimen de autorización previa.

2. El ejercicio de estas libertades, por cuanto implica deberes y responsabilidad, puede estar sometido a ciertas formalidades, condiciones, restricciones o sanciones previstas por la ley, que constituyen medidas necesarias, en una sociedad democrática, para la seguridad nacional la protección de la salud o de la moral.

Art.12. A partir de la edad núbil, el hombre y la mujer tienen el derecho de casarse y de fundar una familia.

Art. 11. 1. Toda persona tiene derecho a la libertad de reunión pacífica y a la libertad de asociación. 2. El ejercicio de estos derechos no puede ser objeto de otras restricciones que aquellas que, previstas en la ley, constituyan medidas necesarias en una sociedad democrática, para la protección de la salud o de la moral o la protección de los derechos y libertades de los demás.

El desarrollo de la salud ha recibido también creciente atención en la política de distintos programas y organizaciones del sistema de Naciones Unidas. Por ejemplo, la UNICEF ha intensificado sus esfuerzos en el sector de la salud, en particular a través de su dedicación a la atención primaria de la salud y mantiene estrecho enlace con la OMS en las cuestiones de criterios generales. El Banco Mundial ha adoptado importantes decisiones políticas al acordar la concesión de fondos para el componente sanitario de los programas de desarrollo económico y presta detenida consideración a la extensión de dicha política, mediante la subvención directa de los programas sanitarios. El FNUAP ha seguido también reconociendo la importancia de la salud de la familia en su política demográfica. La aplicación de las recomendaciones de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua, relativas a la provisión de agua potable y de sistemas de saneamiento para toda la población en el año 1990, ha de ejercer una profunda Influencia en el fomento de la salud. El programa de la OIT comprende el fomento de la seguridad del medio laboral y la rehabilitación de los incapacitados, y el programa de la UNESCO de disminución de los índices de analfabetismo puede ejercer un efecto indirecto en la salud de los individuos. Por último, el Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas tuvo la oportunidad de revisar las tendencias de la política sanitaria, en la medida en que se relacionan con las políticas aplicadas en otros sectores sociales y económicos y en lo que respecta al grado de esfuerzo mutuo, como preparación para la Nueva Estrategia Internacional del Desarrollo.

IX. LA SALUD EN LAS CONSTITUCIONES Y EN LAS LEYES FUNDAMENTALES ESPAÑOLAS

El artículo 287 de la primera Constitución Española, la de las Cortes de Cádiz o la "Pepa" por haberse aprobado el ida de San José de 1812 suprimía las penas corporales. La Constitución de 1931, la de la II República, aseguraba en su artículo 46 que "La República asegurará a todo trabajador las condiciones necesarias de una existencia digna. Su legislación social regulará los casos de seguro de enfermedad, accidente, paro forzoso, vejez, invalidez y muerte, el trabajo de las mujeres y de los jóvenes, la protección de la maternidad, la jornada de trabajo" y en el art. 47 se prevé la creación de cajas de previsión para el campesinado.

El Fuero del Trabajo, aprobado el 9 de Marzo de 1938 decía en su punto II "El Estado se compromete a ejercer una acción constante y eficaz en defensa del trabajador, su vida y su trabajo. Limitará convenientemente la duración de la jornada para que no sea excesiva y otorgara al trabajo toda suerte de garantías de orden defensivo y humanitario" y en el punto X, "La previsión proporcionará al trabajador la seguridad de su amparo en el infortunio. Se incrementará los seguros sociales de vejez, invalidez, maternal, accidentes de trabajo, enfermedades profesionales, tuberculosis y paro forzoso, tendiéndose a la implantación de un seguro total".

El Fuero de los Españoles aprobado por la Ley de 17 de julio de 1945 decía: Art. 4: los Españoles tienen derecho al respeto de su honor personal y familiar.

Art. 22. El Estado reconoce y ampara a la familia como institución natural y fundamento de la sociedad, con derechos y deberes anteriores y superiores a toda ley humana y positiva.

Art. 27. Todos los trabajadores serán amparados por el Estado en su derecho a una retribución justa y suficiente, cuando menos para proporcionar, a ellos y a sus familias, el bienestar que les permita una vida moral y digna.

Art. 28. El Estado Español garantiza a los trabajadores la seguridad de amparo en el infortunio y les reconoce el derecho a la asistencia

en los casos de vejez, muerte, enfermedad, maternidad, accidentes del trabajo, invalidez, paro forzoso y demás riesgos que puedan ser objeto de seguro social.

Art. 29. El Estado mantendrá instituciones de asistencia..."

La primera norma española que incluye explícitamente a la Salud es Ley de Principios del Movimiento Nacional, 17 de Mayo de 1958: "V. La comunidad nacional se funda en el hombre, como portador de valores eternos. IX. Todos los españoles tienen derecho a los beneficios de la asistencia y seguridad sociales. XII. El Estado procurará por todos los medios a su alcance a perfeccionar la salud física y moral de los españoles y asegurarles las más dignas condiciones de trabajo".

La Ley Orgánica del Estado de 10 de Enero de 1967 en su art.30 dice "Son fines fundamentales del Estado la salvaguardia del patrimonio material y espiritual de los españoles, el amparo de los derechos de la persona, de la familia y de la sociedad". Como la salud es un derecho y patrimonio a la vez material y espiritual su protección está implícita en este artículo.

Sin carácter fundamental, la Ley de bases de Sanidad de 25 de noviembre de 1945 decía:"Incumbe al Estado el ejercicio de la función pública de sanidad". Es decir, que el Estado se adscribía reiterativamente, aunque podría recibir colaboración, la responsabilidad en el ejercicio de función pública de sanidad.

Donde se menciona por primera vez en nuestro ordenamiento legal a la salud es en la Ley de Principios del Movimiento Nacional, 17 de Mayo de 1958: "V. La comunidad nacional se funda en el hombre, como portador de valores eternos. IX. Todos los españoles tienen derecho a los beneficios de la asistencia y seguridad sociales. XII. El Estado procurará por todos los medios a su alcance a perfeccionar la salud física y moral de los españoles y asegurarles las más dignas condiciones de trabajo".

La Ley Orgánica del Estado de 10 de enero de 1967 en su art. 30 dice: "Son fines fundamentales del Estado la salvaguardia del patrimonio material y espiritual de los españoles, el amparo de los derechos de la persona, de la familia y de la sociedad". Como la salud es un derecho

y patrimonio a la vez material y espiritual su protección está implícita en este artículo.

Sin carácter fundamental, la "Ley de bases de Sanidad" de 25 de noviembre de 1945 decía: "Incumbe al Estado el ejercicio de la función pública de sanidad". Es decir, que el Estado se adscribía reiterativamente, aunque podría recibir colaboración, la responsabilidad en el ejercicio de función pública de sanidad.

La Constitución española de 29 de Diciembre de 1978 no menciona explícitamente a la salud, pero recoge el derecho a la misma en diversos artículos. Estos son:

10. La dignidad de la persona humana y su inviolabilidad

15. "Todos tienen derecho a la vida y a la integridad física y moral, sin que en ningún caso, puedan ser sometidos a torturas ni a pena o tratos inhumanos o degradantes".

17.1. "Toda persona tiene derecho a la libertad y a la seguridad"...

20. El derecho a la vida y a la integridad física y psíquica del

40. El Estado debe promover una política garantizadora de la formación y de la readaptación profesionales y adoptar medidas en favor de la higiene y de la seguridad del trabajo..

41. "Los poderes públicos mantendrán un régimen público de Seguridad social para todos los ciudadanos que garantice prestaciones sociales dignas y suficientes y el seguro de desempleo. La asistencia y prestaciones complementarias serán libres""..

43.1. Se reconoce el derecho a la protección de la salud. 2. Compete a los poderes públicos organizar y tutelar la salud pública a través de medidas preventiva y de las prestaciones y servicios necesarios. La ley establecerá los derechos y deberes de todos al respecto. 3. Los poderes públicos fomentarán la educación sanitaria, la educación física y el deporte. Asimismo, facilitarán la adecuada utilización del ocio".

45. Todos los ciudadanos tienen derecho a vivir en un medio ambiente adecuado para el desarrollo de la persona, así como el deber de conservarlo. Los poderes públicos velarán por la autorización racional

de todos los recursos naturales, con el fin de proteger y mejorar la calidad de la vida y defender y restaurar el medio ambiente.

49. Los poderes públicos realizarán una política de previsión, tratamiento, rehabilitación e integración de los disminuidos físicos, sensoriales y psíquicos, a los que prestará la atención especializada que requieran y los amparará especialmente para el disfrute de los derechos que este Título otorga a todos los ciudadanos.

50. El Estado debe promover el bienestar de las personas de la tercera edad por un sistema de servicios sociales que atenderá a sus problemas específicos de la salud, vivienda y ocio.

51. El Estado debe proteger la salud de los consumidores usuarios.

148.1.2.1. Dispone que las Comunidades Autónomas pueden asumir las responsabilidades en materia de protección del medio ambiente, la Seguridad Social y la Salud.

149. El Estado tiene competencia exclusiva en las cuestiones que afectan a la salud o sanidad internacional, a los principios generales y a la coordinación de la política de salud, a la legislación farmacéutica, a la legislación de base en materia de medio ambiente.

España ha ratificado el CONVENIO PARA LA PROTECCIÓN DE LOS DERECHOS HUMANOS Y DIGNIDAD DEL SER HUMANO EN APLICACIONES DE BIOLOGÍA Y MEDICINA el 4 de abril de 1999

X. BIBLIOGRAFÍA

(1) Anderson, R.; Healt Promotion (1994): An overview. European Monographs in Health Education Research. Num 6. Edimbourgh.

(2) Andrews, F.M.; McKennel, A.C. (1980): Measures of self-reported well-being: their effective, cognitive and other components. *Social Indicators Research* 18: 127.

(3) Ashton, J.; Seymour H. (1990): La Nueva Salud Pública.- Versión española de Alvarez-Dardet C., Colomer C y Piera C. Ed. Masson Barcelona.

(4) Attali I. L'ordre cannibale. Vie et mort de la Médecine. Bernard Grasset, Paris, 1979.

(5) BERDINE, R.W.: Objetivos Terapéuticos: Calidad de Vida [C. 16]. en Manual Merck
(6) BLANCO, A.: Calidad de Vida. Supuestos Psicosociales. En Morales J F y cols.. [eds]
(7) BROWN, R. (1988): Quality of life and rehabilitation: An Introduction. en: Brown R 1 (ed). Quality of life for handicapped people. Londres. Croon Heim.
(8) De Geriatria. Barcelona. Doyma 1992.
(9) CARLEY, M. (1981): Social measurement and social indicators. Londres. Goerge Alien..
(10) COE, R.M. (1970): Sociology of Medicine. McGraw-Hill, Nueva York.
(11) DIEZ, J.R. (1992): El Bienestar SociaL Concepto y Medida. [Colecc. Trabajo Social. Politica Social Num 20]. Madrid. Editorial Popular SA.
(12) DOMÍNGUEZ CARMONA. M. (1981): Discurso para la recepción como Académico numerario en la Real Academia de Medicina y Cirugía de Galicia.
(13) DURÁN. M.A. (1992): Salud y Sociedad: Algunas propuestas de Investigación, En: Barañano (ed.). Mujer, Trabajo y Salud. Ed. Trota, Madrid.
(14) EARTHSCAN (1978): Vers un nouvel ordre de la santé. Les editions ouvrieres, Collection Nord-Sud, Paris.
(15) FABIAN, E. (1991): Using quality of life indicators in rehabilitation program evaluation *Rehabilitation Counseling Bulletin* 34;334
(16) FERNÁNDEZ-BALLESTEROS, R.; MACIÁ, A. (1996): Informe de allegados sobre los mayores y de estos sobre sí mismos. *Rev. de Gerontologia.* 6, 20.
(17) FITZGERALD, F.T. (1994): The tyrannny of health. *Lancet* 331,196.
(18) FLAMANIE, P.; PORTONNIER, J.C. (1978): «Le sistéme de Santé face aux risques graves». *Revue raspase des affaires sociales*, 32-4.
(19) FLANAGAN, J.C. (1979): Identifying opportunities for improving the quality of the older age groups. Palo Alto. California. American Institutos for Research.
(20) FLANAGAN, P.A. (1976): Research approach to improving the quality of tife. *American Psychiologist* 33, 30.
(21) FUCHS, V.R. (1974): Who shall live? Health, economics nd social choice, New York, Basic.
(22) GOODE, D. (1990): Thinking about and discussing quality of life. En: Schalock R et Bogale m J (eds) Quality of life: Perspectives and isssues. Washington DC. Associaflon of Mental Retardation.
(23) GRACIA GUILLÉN, D. (1989): Asistencia Médica y Universidad. Seminario de El Escorial.Ed Forum Universidad-Empresa.
(24) HATCH, S.; KICKBUSH, I. (1984): Self-help and health in Europe. Oficina de la OMS para Europa.
(25) HERSCH, J. (1968): Nouveaux pouvoir de I'homme, sens de sa vie el de sa santo. En: The Chalienge of Life. Birkhauser, Basilea, 1972. Israel, L.: Le médecin face au malade. Dessart, Bruselas.
(26) ILLICH, I. (1974): Medical némesis. *Lancet* 1,918.

(27) Informe de la Conferencia internacional sobre Atención Primaria de Salud, Alma-Ata, URSS 6-12 de septiembre de 1978, Ginebra, Organización Mundial de la Salud, 1978.
(28) Laín Entralgo, P. (1973): La medicina actual. Seminarios y Ediciones, Madrid.
(29) Lalonde, M. (1974): A new perspective on the health of Canadiens.- Otawa. Governmemt of Canada.
(30) Last, J.M. (1986): Scope and methods of prevention.-En "Last JM (Ed) Public Health and Preventive Medicine".-Ed.Appleton-Century Crofts.- Norwalk (USA).
(31) Leavell, H.G. y Clark E.G. (1965): Preventive Medicine for the Doctor in his Community.—Ed. McGraw Hill.- New York.
(32) Luria Salvador, E. (1972): Ethical aspects of the new perspectivas in biomedical research. En: The Challenge of Life. Birkhauser, Basilea.
(33) Martí, M. (1990): Prólogo. Calidad de Vida [número monográfico]. Quadern CAPS 14:4.
(34) Maslow, A.H. (1975): Motivación y Personalidad. Barcelona. Sagitario.
(35) Maslow, A.H. (1973): El hombre autorrealizado. Barcelona. Kairós.
(36) Memi, A. (1979): La dépendance. Gallimard, París.
(37) Mencken, H.L. (1982): A Mencken Chrestomaty. Ed. Vintage Books. NY.
(38) Mitchell. A.; Logothetti. T.H.J., Kantor. R.E.: An approach to measuring the "Quality of life " '
(39) Mittler, P. (1986): Calidad de Vida y servicios para personas con deficiencias. *Siglo Cero* 105: 34.
(40) Mustard. H.S., Stebbins E.L. (1965): Introducción a la salud pública.- La Prensa Mexicana.-México.
(41) Neumann. S. (1847): Die Offentliches Gesundeheitstflege und das eigenthum. Berlin.
(42) Neugarten. B.L.; Havighurst. R.J.; Tobin, S.S. (1961): The measurement of life satisfaction. *J. Gerontol* 16, 134.
(43) Parsons, T. (1951): The social system. Ed. Free Press.
(44) Pérez Hervada, E. (1962): Sanos y enfermos. Moret, La Coruña.
(45) Rodney, M.C. (1973): Sociología de la Medicina. Alianza Universal, Madrid.
(46) Roessier, R.A. (1990): quality of life perspectiva on rehabilitation counselting. Rehabilitation Counseling Bulletin 13 95.
(47) Rosenthal, P. (1984): Words and values: Some leading words and where they lead us New York. Oxford University Press.
(48) Ruiz, M.A. y Baca, E. (1993): Design and validation of the "Cuestionario de Calidad de Vida". A generic health-related perceived quality of life instrument. *Europ. J. Psycol. Assess* 9,19.
(49) Sandblom, P.H. (1982): Creativity and Illness. Ed. George Stickly Filadelfia.
(50) Schalock, R. (1990): Attempts to conceptualize and measure quality of life. en: Schalock R. et Bogale m J (eds) Quality of /¡fe: Perspectives and isssues. Washington DC. Association of Mental Retardaüon.

(51) SCHALOCK, R.; KEITH, K.D.; HOFFMAN, K.; KAREN, O. (1989): C QuaW of tife, its measurement and us in human service programs. *Mental Retardafion* 27: 25
(52) SCHULLER, A. (1997): El Concepto de Salud. Ed. Fundación BBV.
(53) SETIEN, M.L (1993): Indicadores Sociales de Calidad de Vida. Un sistema de medición aplicado al Pais Vasco. [Colecc. Monografias nO 133]. Madrid. CIS. Siglo Veintiuno de España Editores.
(54) SONTAG, S. (1980): La enfermedad y sus metáforas. Ed Muchnick. Barcelona.
(55) STAFFORD, J. (1978): Petite Histoire des Indicateurs Sociaux. Communautées. *Archives des Sciences Sociales de la Coopération et du Développement.* 45: 69.
(56) STONES, M.L.; KOZMA, A. (1980): Issues relating to the usage of conceptualitations of mental constructs employed by gerontologits. *Lnt. J. Ageing and Human Develop.* 11,: 269.
(57) SZALAY, A.; ANDREWS, F.M. (1973): The Quality of Life: Comparative Studies. Beveriy Hilis. California. Sage Publications.
(58) TERRIS, M. (1980): La evolución epidemiológica y la medicina social,. Ed. Siglo XXI.
(59) THOMAS, J. (1998): La temporalidad de los procesos químico-farmacéuticos. Real Academia de Medicina de Granada 1998
(60) THUILLER, P. (1981): ¿Tomarán el poder los biólogos? *La Recherche* (versión española en Mundo Cientifico), 7, 717.
(61) VEGA, L.; GARCÍA, H. (1965): Bases esenciales de la salud pública. La Prensa Médica mexicana. México.
(62) VIANO, C.A. (1977): Etica. Labor, Barcelona.
(63) WHO (1977): Measurement of levels of health: report of a study group. *Technical Report Series*. NO 137. WHO.
(64) WHO (1976): Applications of systems analysis to health management. Report of WHO Expert Commitee. *Technical Report Series* NO 596. WHO.

II. Desarrollo de fármacos selectivos

MANUEL ORTEGA MATA

Académico de Número

Un problema de permanente actualidad, por las consecuencias que conlleva, es el de las reacciones adversas a los medicamentos. De acuerdo con la definición que de ella nos ofrece la Organización Mundial de la Salud (OMS) debe entenderse como un efecto nocivo no deseado de un medicamento, que ocurre en ocasión de su uso como profiláctico, o con fines terapéuticos o de diagnóstico. Ello quiere decir que deben quedar excluidas las reacciones adversas que pudieran producirse bien por errores de administración o simplemente por no cumplirse las pautas de dosificación prescritas, tanto por defecto como por exceso.

En un trabajo de Lazarou y colaboradores (1) podemos encontrar datos suficientemente demostrativos, de la necesidad de aumentar nuestro conocimiento sobre los mecanismos que conducen a la reacción adversa de un medicamento, administrado en humanos a dosis terapéuticas. Se trata de un meta-análisis de los resultados publicados en 39 estudios prospectivos en los Estados Unidos de América, en los últimos 32 años, en los que hacen un cribado de los datos al objeto de disminuir en todo lo posible la incertidumbre final de los resultados, a la hora de establecer las conclusiones.

En el estudio se hace una clasificación en dos grupos, el de los individuos que ingresan en el hospital con la reacción adversa ya instaurada, y aquellos otros en los que una vez hospitalizados por diferentes motivos, sufren la reacción adversa a los medicamentos que en el hospital se le administran. Concretándonos a los datos que corresponden al año 1994, en el primero de los grupos contabilizaron 1.547.000 individuos con una reacción adversa severa, que culminaron en 43.000 fallecimientos, mientras que en el segundo de los grupos se elevó la cifra a

702.000 individuos con reacción severa, de los que se derivaron 63.000 fallecimientos.

Tomadas en conjunto las cifras de fallecimientos, los 106.000 por las reacciones adversas a los medicamentos, ocurridos como se ha indicado en el año 1994, representaría el 4,6% del total de fallecimientos (2.286.000) registrados en dicho año en USA. Estas cifras, en términos comparativos con otras causas de muerte, la sitúa entre el 4º y el 6º lugar, por detrás de las enfermedades cardiacas, los procesos cancerosos y los accidentes vasculares cerebrales.

Este destacado lugar en el orden establecido para las causas de muerte, sitúan a las reacciones adversas a los medicamentos por encima de las muertes producidas por accidentes, y de acuerdo con los resultados del estudio dicho orden ha permanecido estable en los últimos 30 años.

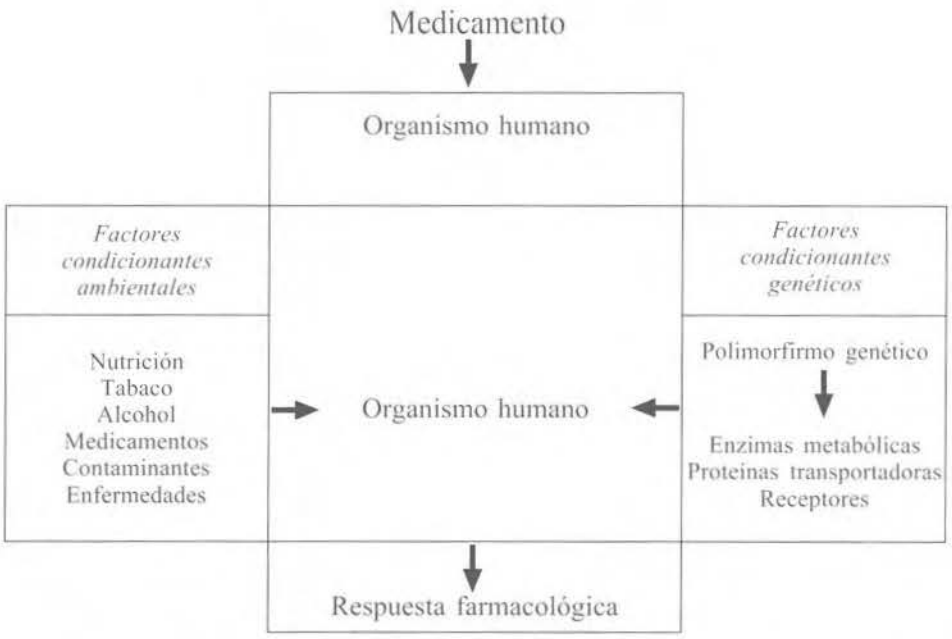
En el caso de Inglaterra, los estudios realizados dan una estimación de que 1 de cada 15 ingresos en el hospital son debidos a las reacciones adversas a los medicamentos, que le fueron recetados para tratar sus respectivas patologías (1).

Aunque pueda pensarse que en el momento actual la situación de las reacciones adversas a los medicamentos haya mejorado, la realidad es que el problema persiste. Por ello todo cuanto se haga por conocer los mecanismos que conducen a la reacción adversa de un determinado medicamento en una determinada persona, nos acercará cada vez más a esa deseable terapéutica individualizada carente de riesgos.

I. ORGANISMO HUMANO Y MEDICAMENTOS

Al administrar un medicamento con fines terapéuticos, lo que se busca es su adecuada respuesta farmacológica. Dicha respuesta, en la que se incluirán las reacciones adversas, dependerá de los que han venido a denominarse factores condicionantes ambientales y factores condicionantes genéticos.

El esquema siguiente nos permite conocer dichos factores.



En virtud de los factores condicionantes, se puede explicar la gran heterogenicidad en la forma de responder los individuos a la acción de los medicamentos, tanto en términos de su toxicidad como en la eficacia del tratamiento.

A pesar de la importancia potencial de los factores condicionantes ambientales, hoy día se reconoce que los condicionantes genéticos pueden tener aún mayor influencia que aquellos en la eficacia o toxicidad del medicamento.

Desde hace más de cuarenta años se conocían, por las observaciones clínicas, efectos adversos a los medicamentos en virtud de rasgos hereditarios, como por ejemplo los procesos hemolíticos con las terapias antimaláricas, que se relacionaban con la concentración en los hematíes de la glucosa-6-fosfato dehidrogenasa; o las neuropatías que presentaban determinados individuos al ser tratados con isoniacida, relacionado en este caso con la capacitad acetiladora de los mismos, durante el proceso metabólico del medicamento. El estudio de este comportamiento permitía clasificar a los individuos como pertenecientes a las categorías de acetiladores lentos o rápidos.

Estos hechos y otros semejantes, han dado origen a la creación de un nuevo campo de trabajo denominado **Farmacogenética**, que se ocupa del estudio de las condiciones genéticamente heredadas que afectarán a la forma de actuación de un medicamento sobre el organismo humano.

De la Farmacogenética emerge posteriormente una nueva ciencia, la **Farmacogenómica**, que trata de enseñarnos a comprender la influencia de las variaciones genéticas individuales, en términos de polimorfismo, sobre la respuesta de nuestro organismo a los medicamentos.

Las herramientas analíticas que nos permitirán avanzar en sus estudios, nos pueden servir como elementos de distinción entre ambas, ya que la Farmacogenética se alimenta de técnicas analíticas bioquímicas, mientras que la Farmacogenómica se apoya en el conocimiento de las secuencias de DNA en diferentes poblaciones humanas, así como de los correspondientes mapas genéticos y lo que es más importante de la ayuda esencial de la Bioinformática.

Del desarrollo de la Farmacogenómica cabe esperar cambios sustanciales en los procesos exigidos a la Industria Farmacéutica en la validación de un nuevo medicamento, en la fase de los ensayos clínicos, que se acortarán sustancialmente lo que redundará en su coste. Por otra parte, la conveniente selección por sus características genéticas de los individuos que participarán en dichos ensayos, no cabe duda que reducirán al mínimo la posible aparición de fenómenos tóxicos achacables al medicamento en estudio.

La influencia de los factores genéticos en la respuesta de un medicamento en nuestro organismo, se puede clasificar en monogénicas y poligénicas, según que sea un solo gen, o varios de ellos, los que contribuyen a la respuesta observada.

Recordemos que un gen mutado, se le reconoce también como un alelo, y dado que un gen o un alelo se hereda del padre y otro de la madre, constituyendo el genotipo del individuo, nos vamos a encontrar individuos monocigotes al gen natural o al gen mutado, y heterocigotes cuando la herencia le ha hecho portador de un gen natural y otro mutado.

El polimorfismo genético en muchos casos proviene de una simple sustitución en un par de bases (SNP), citándose que en el genoma humano se encuentra con una frecuencia de 1 en 1.000 pares de bases.

A la hora de interpretar las respuestas individuales a los medicamentos, se tendrá que tener en cuenta que el polimorfismo genético podrá afectar a los procesos de metabolización de los mismos, así como a los de absorción y transporte, y finalmente, a los mecanismos de unión a los receptores en los lugares de acción.

II. POLIMORFISMO GENÉTICO DE ENZIMAS METABOLIZADORAS

Tras la administración de un medicamento, el organismo humano procede a su eliminación bien por excreción sin modificación alguna del mismo, o bien tras un proceso previo de metabolización con formación de metabolitos activos o inactivos.

Dicho proceso de metabolización se verifica en dos fases dando origen a los metabolitos de fase I y a los de fase II.

Para la gran mayoría de los medicamentos el proceso de eliminación se hace por rutas metabólicas, con intervención de las enzimas microsomales localizadas en el hígado, la vía más importante aunque no única, y otras como las enzimas en las células intestinales.

Es evidente que si los genes que codifican a las diferentes enzimas metabolizadoras presentan polimorfismo, ello condicionará el proceso metabólico en grupos de individuos, en los cuales se observará diferencias sustanciales en las concentraciones del medicamento, o sus metabolitos, en la sangre o tejidos, tras su administración.

La forma en que el polimorfismo genético afectará al proceso metabólico puede resumirse en la siguiente manera: en primer lugar el gen codificador puede estar ausente en determinados individuos, en cuyo caso no existirá enzima metabólica con la consecuencia de que el medicamento sustrato de dicha enzima no podrá ser metabolizado.

El otro caso extremo es el de aquellos individuos en los cuales el gen codificador lo tienen no solo duplicado, sino también multiplicado por cuatro o por cinco veces, con la consecuencia inmediata de altas concentraciones de la enzima y el reconocimiento de estos individuos como grandes metabolizadores, o ultra rápidos metabolizadores.

Otro grupo de individuos estará constituido por aquellos con gen normal, que codificarán enzimas normales, que procederán a actuar sobre el medicamento-sustrato en lo que puede denominarse un metabolismo normal.

Finalmente nos encontraremos con individuos que presentarán mutaciones en el gen, que bien pueden ser de las que se han denominado de un simple nucleótido (SNP). En estos casos las enzimas codificadas ya no coincidirán exactamente con las que hemos denominado normales, y por tanto nos podemos encontrar con que presentan una menor estabilidad con actividad enzimática reducida, o incluso nula en algunos casos. También están descritas alteraciones en la especificidad para el sustrato, que incluso puede originar la formación de metabolitos diferentes.

Sabemos que el principal regulador de la concentración de un medicamento en nuestro organismo es el proceso de aclaramiento, así como que el mayor determinante de dicho aclaramiento es precisamente el metabolismo.

Está descrito (2) que tras estudiar el mecanismo del aclaramiento metabólico de 315 diferentes medicamentos, se ha podido comprobar que el 56% de ellos eran metabolizados por la familia de enzimas que constituyen los citocromos P45O (CYP). Si tenemos en cuenta por ejemplo, que los genes que codifican a los citocromos CYP2A6, CYP2C9, CYP2C19 y CYP2D6 son funcionalmente polimórficos, nos vamos a encontrar que en al menos el 40% del grupo de medicamentos estudiados, su proceso metabólico estará condicionado por el polimorfismo genético de la población, dándose todos los casos que antes hemos apuntado: ausencia de enzimas, enzimas normales, enzimas inactivas, enzimas con actividad reducida, enzimas inestables, enzimas con especificidad para su sustrato alterada y actividad incrementada por duplicación o multiplicación del gen.

El la página Web de Science Magazine (http://www.sciencemag.org/feature/data/1044449.shl) se pueden encontrar convenientemente tabuladas, las enzimas CYP para las que se ha demostrado su polimorfismo, independientemente de que el efecto que dicho polimorfismo pueda tener en la acción de los medicamentos no sea, por el momento, conocido.

Separan las enzimas metabolizadoras de fase I de las de fase II, que por su interés transcribimos a continuación:

Fase I:

CYP1A1 - CYP1A2 – CYP1B1
CYP2A6 – CYP2B6 – CYP2C8 – CYP2C9 – CYP2C19 – CYP2D6-CYP2E1
CYP3A4 – CYP3A5 – CYP3A7
Aldehido dehidrogenasa (ALDH2)
Alcohol dehidrogenasa (ADH3)
Dihidropirimidina dehidrogenasa
NQO1 (DT-diaforasa)

Fase II:

N-acetiltransferasa (NAT1) y (NAT2)
Glutation S transferasa (GSTM1), (GSTM3), (GSTT1), (GSTP1)
Sulfotransferasas
Catecol-O-metiltransferasa
Histamina metiltransferasa
Tiopurina metiltransferasas
UDP-glucuronil-transferasa (UGT1A1) y (UGT2Bs)

Si estudiamos particularmente algunas de las enzimas arriba citadas, nos podremos dar cuenta del papel que el polimorfismo genético puede tener en la acción de los medicamentos.

La **CYP1A2** participa en el metabolismo de medicamentos tales como: clozapina, imipramina, cafeína, paracetamol, fenacetina, teofilina y tacrina. Además, en presencia de determinadas aminas aromáticas, origina unos metabolitos activos de acción carcinogénica manifiesta.

Las determinaciones de la actividad *in vivo* de la CYP1A2 en diferentes individuos, habían mostrado una variabilidad interindividual muy amplia, lo que hacía presumir la existencia de polimorfismo genético. Sachse y colaboradores (3) abordan el tema en un grupo de voluntarios sanos de raza caucásica, 185 no fumadores y 51 fumadores, confirmando la existencia de un polimorfismo del tipo SNP que ocurre con gran

frecuencia. En la población estudiada la distribución era de un 46% homocigotes de la variante AA, un 44% heterocigotes AC y el 10% restante homocigotes de la variante CC.

Una de las características del CYP1A2 es la de poder ser inducido por el propio sustrato comprobándose que la inductibilidad es muy superior en los individuos de la variante A (genotipo AA).

Todo lo anterior puede explicar las diferencias interindividuales en el metabolismo de los medicamentos que son sustratos para el CYP1A2, así como el factor de riesgo que representa para determinados individuos la activación a productos cancerígenos de aminas aromáticas y heterocíclicas, promotores de cáncer en vejiga urinaria o en el colon.

La **CYP2A6** es una enzima que cataliza la conversión metabólica de la S-nicotina a S-nicotina Δ1'-5' ion iminium, el cual es convertido posteriormente por la aldehido oxidasa en la S-conitina. Los ensayos *in vitro* de su actividad en microsomas hepáticos, muestran diferencias interindividuales de hasta veinticinco veces.

Tras la confirmación de dichas variaciones interindividuales por ensayos *in vivo*, Fernández-Salguero y colaboradores (4) demuestran la existencia de dos variantes alélicos representados por *CYP2A6v1* y *CYP2A6v2*.

Posteriormente Nunoya y colaboradores (5) demuestran la existencia de un nuevo variante polimórfico, caracterizado por la delección del alelo, que se incluyen en el grupo de individuos clasificados con fenotipo de pobres metabolizadores.

La CYP2A6 independientemente de su actividad metabolizadora de determinados medicamentos como el metoxifluorano, halotano, ácido valproico o disulfiran, da origen a metabolitos activos, clasificados como cancerígenos, de sustancias tales como la aflatoxina B_1, la N-nitrosodietilamina y la específica del tabaco 4-(metilnitrosanino)-1-(3 piridol)-1-butanona.

Tenemos pues en la CYP2A6, un nuevo ejemplo del papel que el polimorfismo genético está desempeñando en las sensibilidades individuales frente a los contaminantes ambientales citados.

En un trabajo de Oscarson y colaboradores (6) se estudia la frecuencia con la que aparece la delección del gen *CYP2A6del* en tres poblaciones, chinos, españoles (de Zaragoza) y finlandeses, apareciendo un 15,1% para los primeros, un 0,5% entre los españoles y un 1% de finlandeses.

Teniendo en cuenta que pre-carcinógenos encontrados en el tabaco son activados por la CYP2A6, es evidente que aquellos fumadores con fenotipo de pobres metabolizadores por delección del gen, estarán más protegidos frente al cáncer de pulmón y demás enfermedades relacionadas con el tabaco. Se especula incluso con alguna posible relación del polimorfismo genético para CYP2A6 y la adicción al tabaco y la cuantía de su consumo en los fumadores.

La **CYP2C9** es la que se encuentra en mayor concentración en el hígado humano, de todas las CYP2C, y se encarga de metabolizar a gran número de medicamentos, entre los que encontramos a la fenitoína, tolbutamida, ácido tienílico, piroxican, tenoxican, diclofenac, ácido mefenámico, ibuprofeno, indometacina y ácido acetil salicílico. Pero de especial interés para nuestro estudio es la metabolización del enantiómero S del medicamento anticoagulante warfarina, caracterizado por tener un índice terapéutico muy estrecho.

El polimorfismo genético de esta enzima viene dado por individuos con el gen natural, el CYP2C9*1, y otros con las dos variantes alélicas, la CYP2C9*2 y la CYP2C9*3, ambas del tipo SNP, que dan origen a unas enzimas que se diferencian de la natural en que un aminoácido, la cistina, es sustituido por arginina, en posición 144, para el caso de la CYP2C9*2, mientras que la leucina en el residuo 359, es sustituida por la isoleucina en la CYP2C9*3.

Estas simples modificaciones llevan consigo grandes variaciones de su actividad metabólica frente al sustrato de warfarina, de tal forma que la actividad de la CYP2C9*2 in vitro es del 12% de la correspondiente a la CYP2X9*1, mientras que la CYP2C9*3 es sólo del 5%.

La warfarina tiene la particularidad de que se suministra como un racémico, dándose la circunstancia de que el enantiómero S tiene una actividad farmacológica que es tres veces superior al enantiómero R,

quien a su vez es metabolizado por las enzimas CYP1A2 y la CYP3A4. Es evidente pues, que el polimorfismo genético de la CYP2C9, es el que gobierna las respuestas farmacológicas y sus reacciones adversas de los diferentes individuos. De ahí la dificultad para establecer las pautas terapéuticas al instaurar la medicación, que requiere de controles muy severos de la dosificación, con dosis efectivas entre los 0,5 mg y los 8 mg, dependiendo del genotipo del paciente.

Aithal y colaboradores (7) determinan el genotipo de una serie de pacientes y de manera especial de aquellos que requieren una baja dosificación, inferior a 1,5 mg día. En estos y en los que requieren mayor dosificación encuentran todos los tipos de genotipos, homocigotes y heterocigotes, es decir, el CYP2C9*1/1; CYP2C9*1/*2; ; CYP2C9*1/*3; CYP2C9*2/*2; CYP2C9*2/*3 y CYP2C9*3/*3.

En el estudio se demuestra, como era de esperar, que los pacientes que necesitaban menores dosis, pertenecían a los genotipos con las variantes alélicas. Además, por los historiales clínicos se pudo conocer que en el grupo de baja dosificación, las reacciones adversas fueron más frecuentes, con episodios hemorrágicos que se podían clasificar de menores, serios, muy serios y hasta mortales.

Este es un ejemplo claro de que el conocimiento del genotipo del paciente cuando se decide el tratamiento con warfarina, ayudará a reducir al mínimo los peligros en el momento de su iniciación, e incluso la necesidad de no llegar a instaurar dicha medicación.

Las mismas consideraciones pueden ser aplicables a los problemas de toxicidad que con relativa frecuencia, aparecen con el uso de la fenitoína como antiepiléptico, o la tolbutamida como antidiabético.

Otra de las enzimas para las que se conocen fenotipos de pobres o extensivos metabolizadores es la **CYP2C19**. Medicamentos que son sustratos de esta enzima están entre otros: el omeprazol, ciertos barbitúricos, el antimalárico proguanil, el diazepan, el propanolol, etc.

El polimorfismo genético en este caso está representado por los alelos naturales CYP2C19*1A y CYP2C19*1B, junto a otra serie de alelos defectuosos. La consecuencia para la actividad de la enzima es la siguiente:

Alelo CYP2C19*1A	Enzima activa
Alelo CYP2C19*1B	Enzima activa
Alelo CYP2C19*2A	Enzima inactiva
Alelo CYP2C19*2B	Enzima inactiva
Alelo CYP2C19*3	Enzima inactiva
Alelo CYP2C19*4	Enzima inactiva
Alelo CYP2C19*5A	Enzima inactiva
Alelo CYP2C19*5B	Enzima inactiva
Alelo CYP2C19*6	Enzima inactiva

Dos de estos alelos fueron identificados por primera vez por Iblanu y colaboradores (8) al estudiar los genotipo de individuos pobres metabolizadores para el anticonvulsivante mefenitoína. En el mismo trabajo se establece la frecuencia con la que aparecen los distintos alelos, en un grupo de 172 franceses.

Como ejemplo de la responsabilidad del polimorfismo genético en las acciones no deseables de los medicamentos, podemos citar el caso del omeprazol, usado como antiulceroso y para remediar el reflujo gastro-esofágico, el cual en tratamientos prolongados pueden originar una deficiencia en los niveles de cobalamina (Vitamina B_{12}) en el suero humano. En estos casos, las consecuencias son la aparición de trastornos hematológicos y anormalidades neuro-psiquiátricas.

Lo que ya era conocido es que individuos con fenotipo de pobres metabolizadores para la CYP2C19, al estudiar la farmacocinética del omeprazol en los mismos, podían verse valores de AUC (área bajo curva de concentración plasmática frente al tiempo) que eran 12 veces mayores que los encontrados en los extensivos metabolizadores.

Sagar y colaboradores (9) hacen un seguimiento de los valores de cobalamina en 179 pacientes, con tratamiento continuado con omeprazol, a la vez que determinan los genotipos correspondientes. Lo que encuentran es que en los individuos homocigotes al gen normal, prácticamente no había variación alguna en el nivel de la cobalamina en el suero y lo mismo podría decirse de los heterocigotes con gen normal y mutado. Por el contrario, en los homocigotes a los alelos mutados, la disminución era bien significativa, ya que pasaba de 360 pmol/litro hasta 178 pmol/litro, tras 15 meses de terapia continuada.

Una posible explicación para este hecho, es que dado que en los individuos pobres metabolizadores, el omeprazol origina una profunda y sostenida inhibición de la acidez con una mayor liberación de gastrina; esta prolongada acloridia puede originar un crecimiento anormal de la flora bacteriana, que a su vez podrían estar originando compuestos análogos de la Vit. B_{12} que competirían con la absorción de la propia Vit. B_{12} de los alimentos.

Para la enzima **CYP2D6** el polimorfismo es bien manifiesto ya que aparte de la enzima natural (CYP2D6*1) se han descrito hasta 10 diferentes alelos, codificadores de otras tantas moléculas de enzimas. La mayoría de estos alelos presentan un polimorfismo del tipo SNP, pero también se encuentran genotipos caracterizados por la completa delección del gen, alelos híbridos y genes múltiples.

Entre los medicamentos que son metabolizados por esta enzima tenemos, por ejemplo, los β-bloqueadores, antidepresivos, antipsicóticos, codeína, debrisoquina, dextromorfano, fenacetina, fenformina, propafenona, etc. Para todos ellos y dado que su eficacia terapéutica o reacciones adversas dependerá de la actividad de la enzima CYP2D6, es evidente que el genotipo del individuo a tratar debería ser conocido para conseguir el tratamiento óptimo individualizado.

Si tomamos como ejemplo el de la codeína, vemos que su efecto analgésico o sus efectos adversos, son atribuidos a su metabolito morfina. Los estudios cuantitativos ponen de manifiesto que la metabolización de la codeína a morfina y sus metabolitos, representa el 3,9% de la dosis suministrada, cuando se trata de individuos con fenotipo de grandes metabolizadores mientras que es de sólo el 0,17% en el caso de pobres metabolizadores.

En un trabajo de Dalén y colaboradores (10) se describe muy gráficamente como una alumna al oír las explicaciones de clase sobre el proceso metabólico de la codeína por la CYP2D6, se autodiagnosticó como una metabolizadora extensiva. Describe que tomó como preventivo a una extracción dentaria, dos tabletas que contenían paracetamol (500 mg) y codeína (30 mg). Al cabo de 30 minutos se le presentó un estado de euforia, con vértigos y un gran dolor en el epigastrio, al que califica como superior a los dolores de un parto .

Posteriormente y para comprobar los hechos tomó una sola tableta, repitiéndose los mismos síntomas, aunque más pasajeros dada su menor dosificación.

Investigado su genotipo se comprobó que pertenecía al grupo de metabolizadores ultrarrápidos.

Genotipos con el gen 2D6 duplicado o multiplicado se ha encontrado con frecuencia del 2% en la población sueca, del 7% en la española y del 13% en los etíopes.

La **CYP3A4** se considera la más abundante en el hígado humano, y se caracteriza por su capacidad para metabolizar a un gran número de medicamentos, como por ejemplo, macrólidos, ciclosporina, bloqueadores de canales de calcio, midazolan, terfenadina, lidocaína, quinidina, triazolan, lovastatina, tamoxifeno, etc.

Las diferencias interindividuales en la expresión hepática de la CYP3A4 es bastante considerable, lo que apunta por la existencia de un marcado polimorfismo que, hasta el presente, no está claramente definido. Lo que si parece evidente es que no se ha citado la existencia de individuos con una mutación del gen, que inactive la enzima.

Rebbeck y colaboradores (11) manifiestan que han identificado una variante genética, CYP3A4-V, caracterizada por una mutación adenina→guanina. Trataban de encontrar alguna relación entre las características clínicas de individuos con cáncer de próstata, con el ser portador de esta variante genética.

Un ejemplo de reacción adversa lo tenemos con el antihistamínico Seldane (terfenadina) que es metabolizado por la CYP3A4 y la CYP2D6, mientras que la eritromicina se metaboliza solamente por la CYP3A4. Pues bien, en pacientes con fenotipo de pobre metabolizador para la CYP2D6, la terfenadina competirá con la eritromicina para la CYP3A4, cuando ambos medicamentos se administran simultáneamente, lo que podrá conducir a que la concentración en sangre de la terfenadina se sitúe en niveles de toxicidad, en virtud de la disminución de la velocidad de aclaramiento de la misma.

Entre otras enzimas, que no pertenecen a los grupos anteriores y que presentan también polimorfismo genético con las consecuencias previsibles, tenemos las siguientes:

a) Dihidropirimidina dehidrogenasa, que metaboliza al fluorouracilo, y como reacción adversa son los procesos neurotóxicos.

b) DT-diaforasa, que metaboliza a ubiquinonas, menadiona, y mitomicina C, que pueden producir urolitiasis asociada a la menadiona.

c) N-acetiltransferasa (NAT2), que metaboliza a la isoniazida, hidralazina, sulfonamidas, amonafida, etc. que pueden generar reacciones adversas tales como neurotoxicidad por la isoniazida, lupus inducido por la hidralazina, hipersensibilidad a las sulfonamidas, y toxicidad de la amonafida.

d) Tiopurina metiltransferasa, que metaboliza a la mercaptopurina, tioguanina y azatioprina, y puede condicionar la eficacia terapéutica o la toxicidad de la tiopurina así como constituir un factor de riesgo para la aparición de metástasis en procesos cancerosos.

III. POLIMORFISMO GENÉTICO DE LOS RECEPTORES DE MEDICAMENTOS

Gran parte de los medicamentos interaccionan en nuestro organismo con proteínas específicas, que condicionarán su efecto farmacológico, y es eso lo que ocurre con los receptores.

Estudios a nivel molecular han puesto de manifiesto que muchos de los genes que codifican a los receptores de medicamentos, exhiben polimorfismo genético lo que nos permite suponer que, en tales casos, los portadores de dichos polimorfismos pueden ver alterada su sensibilidad a medicaciones específicas.

En contraste con la abundante información que hemos tenido ocasión de ver, al estudiar el polimorfismo de los genes codificadores de las enzimas metabolizadoras de los medicamentos, poco se ha avanzado hasta el presente en el estudio de las bases genéticas que pueden con-

dicionar diferencias interindividuales, en respuesta a los medicamentos desde el punto de vista farmacodinámico.

Tenemos por ejemplo, el caso de la 5-hidroxitriptamina (5-HT) que está implicada en muchas funciones fisiológicas tanto a nivel central como periférico, y sus efectos se producen a través de las siete familias de receptores, 5-HT_1, 5-HT_2, 5-HT_3, 5-HT_4, 5-HT_5, 5-HT_6 y 5-HT_7. Se conoce que puede jugar un papel importante en la etiología de ciertas enfermedades de tanta trascendencia como las enfermedades mentales del tipo de los estados depresivos, la ansiedad, esquizofrenia, desórdenes compulsivos, migraña, etc.

La existencia de diversos perfiles farmacológicos de afinidad para los receptores 5-HT ha permitido identificar diferentes subtipos de receptores, como son: 5-HT_{1A}, 5-HT_{1B}, 5-HT_{1C}, 5-HT_{1D}, 5-HT_{1E} y 5-HT_{1P}, en la familia del receptor 5-HT_1. Por su parte en la familia del receptor 5-HT_2, se conocen los subtipos 5-HT_{2A}, 5-HT_{2B} y 5-HT_{2C}.

Arranz y colaboradores (12) estudian la respuesta de la clozapina, un potente neuroléptico, en pacientes esquizofrénicos, que es muy efectiva para el 40 al 60% de individuos que se mostraban refractarios para otro tipo de medicamentos.

Ello permite suponer que la respuesta a la clozapina puede estar influida por el polimorfismo de los genes que codifican a los receptores, en este caso a los 5-HT_{2A}, 5-HT_{2C}, 5-HT_6 y 5-HT_7, en virtud de su afinidad para los mismos. Tras estudiar los genotipos de un grupo de pacientes llegan a la conclusión, que puesto que el polimorfismo no lleva consigo variaciones en la secuencia de aminoácidos de la molécula del receptor, hay que pensar en la estructura secundaria de la misma, lo que puede estar afectando al enlace de la clozapina-receptor.

Daven y colaboradores (13) insisten en el papel que tiene la relación de la estructura tridimensional del ligando con la actividad farmacológica del mismo (3D QSAR). Eso está reconocido para la 5-hidroxitriptamina (5HT) que se enlaza a sus receptores en diferentes conformaciones. De aquí la importancia de poder identificar las conformaciones bioactivas de los receptores 5-HT.

En otro de los receptores, el β_2-adrenérgico, se ha podido demostrar que en la región codificadora del gen correspondiente, pueden existir

varias mutaciones, dos de las cuales, en los locus 16 y 27, codifican diferentes proteínas. Al estudiar la población en general, se encuentran homocigotes Arg16/Arg16 en aproximadamente el 15%, heterocigotes Arg16/Gli16 en el 38%, homocigotes Gli16/Gli16 en el 45%, y para el locus 27, la proporción también aproximada es del 26% para los homocigotes Gln27/Gln27, del 49% para heterocigotes Gln27/Glu27 y del 22% para los homocigotes Glu27/Glu27.

Lima y colaboradores (14) teniendo en cuenta que la respuesta broncodilatadora en los pacientes asmáticos, de los medicamentos agonistas para receptores β_2-adrenérgicos, varían considerablemente, pretenden determinar si el polimorfismo genético del gen codificador de los receptores β_2-adrenérgicos, afectan a la relación entre la concentración en plasma del medicamento albuterol, y el volumen expiratorio forzado en 1 segundo (FEV_1), en individuos que padecen un proceso asmático moderado.

Los resultados demuestran que la respuesta del albuterol es más positiva y más rápida, en el conjunto de individuos homocigotes Arg 16, en comparación a los portadores de la variante Gli 16.

Como consecuencia de este y otros trabajos resulta evidente que cualquier estudio farmacodinámico de agonistas β_2, que se pretenda realizar en el futuro, deberá incluir obligatoriamente la determinación del genotipo para el receptor β_2-adrenérgico de los que vayan a recibir el medicamento.

Otros ejemplos del papel del polimorfismo en genes codificadores de receptores, lo tenemos en el receptor para la sulfonil urea, que puede originar una ausencia de respuesta a los agentes hipoglucemiantes orales derivados de la sulfonil urea.

Igualmente, en el caso del receptor D_2 y D_3 de la Dopamina, dependiendo del genotipo de los individuos, el tratamiento con antipsicóticos puede ocasionar una diskinesia tardía inducida por dichos medicamentos.

Lo mismo puede decirse del polimorfismo en el receptor para rianodine, en el que el uso del halotano o la succinilcolina puede desarrollar, como reacción adversa, una hipertermia maligna inducida por la anestesia.

IV. POLIMORFISMO GENÉTICO DE TRANSPORTADORES DE MEDICAMENTOS

Transportadores de medicamentos son unas proteínas de membrana que se encuentran en casi todas las células, y que son capaces de enlazar a una gran variedad de compuestos que, tanto estructural como químicamente son diferentes.

Su misión es la de eliminar del interior de las células, por un proceso ATP-dependiente, a los compuestos a los que se unen, entre los cuales se encuentran los medicamentos.

Un tratamiento común y efectivo de los tumores malignos es la quimioterapia. La experiencia sin embargo nos muestra que, en la práctica, existen algunos tumores que son inherentemente resistentes a la mayoría de los quimioterápicos; constituye la llamada resistencia intrínseca. Hay otros tipos de tumores en los que la resistencia a múltiples medicamentos (MDR) les aparece tras varias sesiones de quimioterapia, lo que constituye una resistencia adquirida. Ello significa que en ese momento, las células tumorales permanecerán insensibles a la gran mayoría de los medicamentos quimioterápicos.

Hoy se sabe que la causa principal de esta resistencia, tanto intrínseca como adquirida, se debe a que en las células se incrementa la expresión de una glicoproteína de membrana (170 kD), que es codificada por el gen humano MDR1, y que se le conoce como glicoproteína P (P-gp).

Alrededor de unos 100 diferentes transportadores se han identificado, con la particularidad de que en muchas células se expresan varios de ellos.

El interés por el conocimiento de estos transportadores se centra en la búsqueda de moléculas que sean capaces de inhibir su actividad, lo que permite que desaparezca en las células tumorales su resistencia a los quimioterápicos. Por ello es de la mayor importancia el dilucidar los mecanismos de enlace medicamentos-transportador, así como en profundizar sobre las múltiples funciones fisiológicas que puedan estar desarrollando las P-gp en nuestro organismo, para valorar

las posibles consecuencias que pueda llevar consigo su inhibición (15, 16, 17).

Aunque la difusión pasiva puede ser, en muchos casos, la forma de entrada de los medicamentos y sus metabolitos al interior de las células, el énfasis está puesto en el papel de los transportadores que permiten la absorción de los mismos a través del tracto gastrointestinal al ser administrados oralmente, así como su eliminación por la bilis y orina. Igualmente los transportadores están permitiendo la llegada de los medicamentos a los lugares de acción, como puede ser el tejido cardiovascular o las propias células tumorales; sin olvidar su papel en la distribución de los medicamentos al interior de lo que suele denominarse "santuarios terapéuticos", tales como el cerebro o los testículos.

A la vista de lo anterior, no cabe duda que adquiere una gran relevancia todo lo relacionado con el polimorfismo genético de los transportadores, que están condicionando no sólo el efecto terapéutico, sino también las reacciones adversas de los medicamentos.

Para el caso de gen MDR-1 codificador de la P-gp, Mickley y colaboradores (18) han identificado que es en los residuos 2677 y 2995 donde se origina el polimorfismo genético. Mediante la técnica de hibridación con oligonucleótidos se puede conocer la expresión individual de los alelos MDR-1 en células normales o de las procedentes de tumores humanos.

Mucho trabajo se requiere todavía hasta que se pueda llegar a decir, que el papel relevante del polimorfismo genético en los transportadores de medicamentos, haya sido totalmente dilucidado.

V. TÉCNICAS ANALÍTICAS

Las técnicas experimentales que se vienen utilizando para la identificación del genotipo de los individuos, y por lo tanto poder establecer la existencia de portadores de un polimorfismo para un determinado gen, es la de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR). Con ella, se puede amplificar un fragmento de un número determinado de pares de bases que integran la región codificadora del gen.

Para poder proceder a la amplificación, se requiere la preparación de los denominados "primers", unos polinucleóticos que corresponden a la secuencia específica de los aminoácidos que integran la proteína codificada por el gen.

De manera resumida la técnica sigue los siguientes pasos: en primer lugar se requiere extraer el DNA genómico del individuo sometido al análisis, para lo que se utiliza por lo común linfocitos de sangre periférica. La extracción se hace con una mezcla fenol-cloroformo, seguido por una precipitación por etanol (19). Un ejemplo del proceso (11) es el siguiente: se prepara la mezcla reactiva con 10 µL H_2O, 5 µL buffer, 3µL de 25 mMMg^{+2}, 1 mL de cada uno de los 10 mM deoxinocleósido trifosfato, 5 mL de cada uno de los 5 mM "primers", 10 µL del DNA problema, 0,8 µL de Taq-polimerasa y 12,2 µL de H_2O, para un volumen total de 50 µL. El programa de temperatura para la PCR es el de 1 ciclo de 5 minutos a 94° C, otro de 1 minuto a 82° C, seguido por 25 ciclos de 1 minuto a 94° C, con disminución de 0,5° por ciclo, otro de 1 minuto a 66° C seguido de otro minuto a 72° C, otros 8 ciclos de 1 minuto a 94° C, otro minuto a 50° C y un ciclo final de 10 minutos a 72° C. Existen equipos autoanalizadores que permiten realizar estos procesos, mediante la adecuada programación.

Con el producto de la PCR se visualiza el genotipo sometiéndolo a la técnica de conformación-sensible gel electroforesis (CSGE), con poliacrilamida no-desnaturalizante al 10%, usando el protocolo de Ganguly y colaboradores (20), que tras la tinción con bromuro de etidio, las bandas nos permitirán identificar a los homocigotes del gen natural o del mutado, y de los heterocigotes.

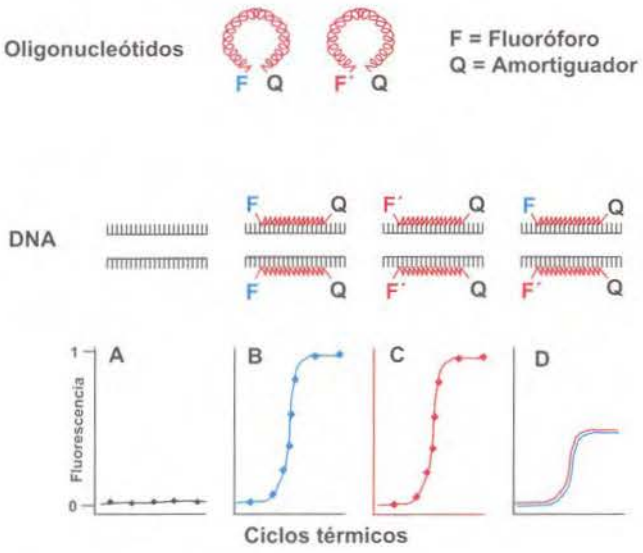
Una técnica más simplificada que no precisa separaciones electroforéticas, es la propuesta por Kostrikis y colaboradores (21) quienes desarrollan un método automático que denominan genotipado espectral, al identificar los diferentes alelos por la radiación fluorescente generada en tubos de amplificación cerrados.

El fundamento de la técnica está en que la amplificación se realiza en presencia de un oligonucleótico que lleva en uno de sus extremos un fluoróforo, y en el otro un amortiguador de fluorescencia ("quencher"). En ausencia del DNA diana, no se produce hibridación, y dada la proxi-

midad del fluoróforo y amortiguador no se genera señal fluorescente en el tubo. Por el contrario, cuando se produce la hibridación con el DNA diana, la separación del fluoróforo y el amorgiguador es la suficiente como para que, en el tubo se genere la fluorescencia. Por tanto, si se usan distintos fluoróforos para el oligonucleótido que hibrida el alelo natural (azul) y el alelo mutado (rojo), nos será factible distinguir a los individuos homocigotes al gen natural, del homocigote al gen mutado, así como si se trata de un heterocigote.

El esquema siguiente nos aclara el concepto.

Genotipado espectral



A.- No hay hibridación DNA y oligonucleótidos
B.- Homocigote al gen natural (W/W)
C.- Homocigote al gen mutado (m/m)
D.- Heterocigotes (W/m)

En A no hay coincidencia del DNA y el oligonucleótido usado.
B homocigotes al gen natural (W/W).
C homocigotes al gen mutado (M/M).
D heterocigotes (W/M).

Otro ejemplo de determinación de genotipos, lo podemos encontrar en el trabajo de Mizugaki y colaboradores (22), en el que el DNA para el ensayo lo obtienen de 100 mL de sangre periférica, con K_2EDTA como anticoagulante. El equipo extractor usado es el WB-Rapid Kit (Wako Pure Chemical Industries, Osaka, Japón). Como alternativa pueden usar 1 ml de saliva y el QIA amp Tissue Kit (QIAGEN, Hilden Alemania).

La amplificación del DNA se realiza por la técnica de TaqMan-reacción en cadena de la polimerasa, que combina la hibridación del reactivo TaqMan, marcado con 6-carboxi-fluoresceína, y los oligonucleótidos ("primers") para el DNA diana.

El TaqMan (P.E. Applied Biosystems, Foster City, CA) es un sistema de detección de amplificación homogénea, que usa Taq DNA polimerasa, y que genera una señal de fluorescencia.

La identificación de los genotipos se realiza de acuerdo con las señales de fluorescencia medidas, tras los diferentes ciclos de amplificación programados y los oligonucleótidos utilizados, los correspondientes al gen natural o al gen mutado.

Siendo importante lo hasta ahora conseguido con las técnicas citadas anteriormente, no cabe ninguna duda que el análisis de la expresión genética en el futuro, está en las nuevas tecnologías de los "chips" de DNA. Basta consultar la bibliografía para darse cuenta de su gran impacto en los estudios genéticos, y que su popularidad viene dada por su gran capacidad analítica, unida a alta sensibilidad y especificidad, lo que le concede un gran valor si consideramos el factor coste-efectividad.

De manera breve, el principio de estos biochips se puede concretar en que sobre una superficie de vidrio o silicona de unos pocos cm^2, se depositan secuencias cortas de nucleóticos (DNA o RNA), tan próximos como sea posible y en número que pueden ir de cientos a decenas de miles de ellas. La Packard Instrument Company, dispone del denominado BioChip Arrayer, que permite depositar, sin contacto con la superficie del chip volúmenes de solución de 325 pL, para producir depósitos de 200 µm, espaciado en 300µm.
(http://www.packardinst.com/prod_serv/Biochiparrayer.htm).

Cada uno de estos miles de depósitos de cadena de ácidos nucléicos puede estar representando un simple gen, y a ellos se unirán de manera preferencial, aquellas secuencias de ácidos nucleicos que sean complementarias.

En la práctica, se procede a la extracción del RNA de la muestra problema, al que se acopla un marcador fluorescente. Cuando esta solución se incuba con el "chip" y se lava posteriormente para eliminar el RNA no enlazado, al excitar con radiación láser, se emitirá fluorescencia en aquellos puntos donde haya existido complementaridad entre el RNA extraído del problema y la secuencia de nucleótidos que se ha depositado sobre el chip. En donde no se ha producido la hibridación aparecerán puntos oscuros, por la ausencia de fluorescencia.

Es evidente que la seguridad en los resultados dependerá de la utilización del sistema de detección de la fluorescencia de alta resolución, que permita eliminar señales de fluorescencia espúreas. El sistema de barrido de láser confocal proporciona la más alta calidad de los datos. (http://www.gsilumonics.com/lifescience_frame/tech1.htm).

La Amersham Pharmacia Biotech (USA) ha sido pionera en el desarrollo de una plataforma de instrumentación que permite la preparación de los "biochips", proporcionando reactivos, entrenamiento y soporte técnico, para obtener la experiencia adecuada sobre los procesos de hibridación, lecturas fluorescentes y análisis de los resultados. Acceso pues a esta nueva tecnología puede ser posible a través de diversos programas. (http://www.apbiotech.com/MTAP/mtap2.htm).

Que toda esta nueva tecnología ya es una realidad para el tema que hemos venido estudiando, el de la interacción del polimorfismo genético-medicamentos, lo tenemos en el caso del Laboratorio AFFYMETRIX, que comercializa un"chip" para el estudio de las enzimas metabolizadoras CYP450. Concretamente, con dicho chip se puede determinar el genotipado de los genes humanos que codifican a la CYP2D6 y a la CYP2C19, pudiendo obtenerse de manera simultánea los genotipos de las 18 mutaciones conocidas en los 10 alelos del CYP2D6, y de los 2 alelos del CYP2C19. (www.affymetrix.com).

VI. HACIA EL DESARROLLO DE FÁRMACOS SELECTIVOS

El avance de nuestros conocimientos en el campo de la genética humana y su polimorfismo, hacen de la farmacogenómica el camino más seguro, no sólo de conseguir las claves para el diagnóstico seguro de los diferentes estados patológicos, sino también para proporcionarnos los medios que permitan desarrollar los agentes terapéuticos seguros y eficaces dirigidos a subgrupos de población, genéticamente identificables.

Es evidente que tan pronto como sea posible popularizar técnicas analíticas de diagnóstico molecular, se convertirá en realidad el poder establecer el medicamento, y su dosificación, que sean óptimos para pacientes individualizados.

Un ejemplo de la forma positiva en que pueden influir las nuevas tecnologías en el desarrollo de medicamentos, lo tenemos en lo que describe Robert F. Service (23) referente a la Compañía Tularik de productos biotecnológicos, que sintetizaron un compuesto que, a la vista de su comportamiento en cultivos celulares, tenía la propiedad de reducir drásticamente los niveles de las lipoproteínas de baja densidad (LDL). Antes de plantearse el seguir todos los pasos de ensayos preclínicos y clínicos exigidos para la autorización de un nuevo medicamento, se optó por investigar cuales de los genes en las células son activados en respuesta al compuesto de estudio. Recurrieron para ello a otro laboratorio Synteni, que trabaja con chips de DNA, quienes comprobaron que el perfil de genes activados era semejante al de otro compuesto, que también se presentaba muy prometedor y que posteriormente resultó ser muy tóxico. Es evidente que los chips de DNA evitaron el gasto de muchos miles de dólares, el costo de los ensayos preclínicos y clínicos, sin beneficio posterior alguno.

Otro ejemplo de hacia donde debe avanzar el estudio del polimorfismo genético humano, en relación con las enfermedades, lo tenemos en la apolipoproteína E (APOE), que la encontramos bajo tres formas diferentes, APOE2, APOE3 y APOE4, que se diferencian en sustituciones de aminoácidos en las posiciones 112 y 158 de la molécula.

Por lo que se conoce, la forma más frecuente en la población es la APOE3, por lo que es considerada que procede del gen natural o normal.

Las otras dos son formas polimórficas y en los genotipos individuales caben todas las posibilidades de homocigotes y heterocigotes a todas ellas.

Son numerosos los estudios tratando de asociar la enfermedad de Alzheimer con la APOE, y sus resultados parecen indicar que la variante APOE4 se podría considerar como un factor de riesgo para el desarrollo de la enfermedad, mientras que la APOE2 aparecería como un factor protector.

En el protocolo de tratamiento de la enfermedad de Alzheimer se suelen encontrar los inhibidores de la acetil colinesterasa, como por ejemplo la tacrina. Pues bien, un estudio clínico con enfermos portadores de la APOE4, y no portadores, tratados con tacrina durante 30 semanas, demostró que en el 83% de lo no-portadores se apreciaban mejoras de las funciones cognitivas, frente a sólo el 40% de los portadores de la APOE4. Desgraciadamente sólo 1 de cada 4 pacientes, se beneficiaría teóricamente con la adminitración de la tacrina, sin olvidar el dato negativo de sus posibles efectos adversos, tales como toxicidad hepática, náuseas y vómitos.

Es evidente pues, que la optimización terapéutica pasa en este caso, por la determinación individual del genotipo para la APOE (24).

Para otro tipo de enfermedades se puede citar lo realizado por Stand y colaboradores (25) que han preparado lo que denominan "linfochip" integrado con 18.500 genes cuidadosamente seleccionados de los linfocitos B productores de anticuerpos, y que participan en la activación de nuestro sistema inmune.

Con el uso del citado chip en 50 pacientes diagnosticados con un linfoma difuso de grandes células, una enfermedad pobremente definida, determinan la expresión genética en cada uno de ellos.

Por los perfiles de los genes expresados en cada caso llegan a la conclusión, de que en el conjunto de los pacientes se pueden hacer dos subgrupos, en uno de los cuales la esperanza de vida es alta, frente al otro grupo con muy mal pronóstico en cuanto a su pervivencia.

Una vez más se pone en evidencia todo el potencial que encierran los chips de DNA, para conseguir diagnósticos seguros y tratamientos indivi-

dualizados eficaces. Para ello tanto estos datos de perfiles genéticos, como los que se vayan conociendo de todos los tipos de procesos cancerosos, se están almacenando en bases de datos, de la que se obtendrá en el futuro informaciones valiosísimas al ser procesados convenientemente.

El análisis genómico generará, está generando ya, una enorme cantidad de información sobre el polimorfismo humano, y serán cientos de miles los casos de SNP que se habrán identificado en los próximos años. El mayor reto está en determinar la función de cada gen polimórfico, o para ser más exacto, la importancia que desde el punto de vista diagnóstico, terapéutico o de toxicidad, pueden tener las moléculas codificadas por dichos genes al ser activados.

Una de las aplicaciones más excitante de las nuevas tecnologías, es la posibilidad futura de analizar los SNP en el genoma de cada individuo, lo que permitirá conocer su perfil genético individual, el que ya ha sido bautizado como nuestro "**código de barras genético**". Con el se estará identificando el riesgo para determinadas enfermedades, así como nos proporcionará valiosa información sobre la eficacia terapéutica y efectos adversos de los medicamentos. Además dicho código de barras genético, puede estar poniendo de manifiesto rasgos de la personalidad cuyo conocimiento plantea problemas desde el punto de vista ético de enorme trascendencia, que deben ser tratados con el rigor exigible a estos casos.

Sería inquietante que el desarrollo de la farmacogenómica fuese utilizado para establecer una población "genéticamente normal", para la cual los Laboratorios Farmacéuticos dirigirían todos sus esfuerzos en el desarrollo de los medicamentos.

Ello podría ser el origen del establecimiento de nuevas enfermedades raras, con el riesgo de que para ellas se establecería una verdadera discriminación terapéutica, al no resultar rentable el desarrollo de medicamentos para su tratamiento. En el momento actual se considera que están identificadas unas 5.000 enfermedades raras en todo el mundo, la mayoría de origen genético provocada por la mutación de un solo gen, que puede ser conocido o todavía desconocido.

Seamos optimistas y confiemos que estas discriminaciones no se producirán.

VII. BIBLIOGRAFÍA

(1) LAZAROU, J.; POMERANZ, B.H.; COREY, P.N. (1998): "Incidence of adverse drug reactions in hospitalized patiens. A meta-analysis of prospective studies. *JAMA* 279: 1200-1205. EDITORIAL (1997) "The cost of adverse drug reactions" *Adverse Drug React. Toxicol. Rev.* 16: 75-78.

(2) INGELMAN-SUNDBERG, M.; OSCARSON, M.; MCLELLAN, R.A.(1999): "Polymorphic human cytochrome P450 enzymes: an opportunity for individualized drug treatment" *Tips* 20: 342-349.

(3) SACHSE, C.; BROCKMÖLLER, J.; BAUER, S.; ROOTS, I. (1999): "Functional significance of a C-A polymorphism in intron 1 of the cytochrome P450 CYP1A2 gene tested with caffeine". *Br. J. Clin. Pharmacol.* 47: 455-499.

(4) FERNÁNDEZ-SALGUERO, P.; HOFFMAN, S.M.G.; CHOLERTON, S.; MOHRENWEISER, H.; RAUNIO, H.; RAUTIO, A.; PELKONEN, O.; HUANG, J.; EVANS, W.E.; IDLE, J.R.; GONZÁLEZ, F.J. (1995): "A genetic polymorphism in coumarin 7 hidroxylation: Séquense of the human CYP2A genes and identification of variant CYP2A6 alleles" *Am. J. Hum. Genet.* 57: 651-660.

(5) NUNOY, K.; TSUYOSHI, Y.; KIMURA, K.; KAINUMA, T.; SATCH, K.; KINOSHITA, M.; KAMATAKI, T. (1999): "A new CYP2A6 gene delection responsible for the in vivo polymorphic metabolism of (+)-cis-3,5-dimethyl-2-(3-pyridyl)thiazolidin-4-one-hydrochloride in humans" *J. Pharmacol. Exp. Ther.* 289: 437-442.

(6) OSCARSON, M.; MCLELLAN, R.; GULLSTEIN, H.; YUE, Q.; LANG, M.; BERNAL, M.L.; SINNES, B.; HIRVONEN, A.; RAUNIO, H.; PELKONEN, O.; INGELMAN, M. (1999): "Characterisation and PCR-based detection of a CYP2A6 gene deletion found at a high frequency in a Chinese population" *FEBS Letters* 448: 105-110.

(7) AITHAL, G.P.; DAY, C.P.; KESTEVEN, P.J.L.; DALY, A.K. (1999): "Association of polymorphisms in the cytochrome P450CYP2C9 with warfarin dose requirement and risk of bleeding complications" *The Lancet* 353: 717-719.

(8) IBEANU, G.C.; GOLDSTEIN, J.A.; MEYER, U.; BENHAMOU, S.; BOUCHARDY, C.H.; DAYER, P.; GHANAYEM, B.I.; BLAISDEL, J. (1998): "Identification of new human CYP2C19 Alleles (CYP2C19*6 and CYP2C19*2B) in a Caucasian Poor Metabolizer of Mephenytoin" *J. Pharmacol. Exper. Ther.* 286: 1490-1495.

(9) SAGAR, M.; JANCZEWSKA, I.; LJUNGDAHL, Å.; BERTILSSON, L.; SEENSALU, R. (1999): "Effect of CYP2C19 polymorphism on serum levels of vitamin B_{12} in patiens of long-term omeprazol treatment" *Aliment Pharmacol. Ther.* 13: 453-458.

(10) DALÉN, P.; FRENGELL, C.; DAHL, M.L.; SJÖQUIST, F. (1997): "Quick onset of severe abdominal pain after codeine in an ultrarapid metabolizer of debrisoquine" *Ther. Drud Monit.* 19: 543-544.

(11) REBBECK, T.R.; JAFFE, J.M.; WALKER, A.H.; WEIN, A.J.; MALKOWICZ, S.B. (1998): "Modification of clinical presentation of prostate tumors by a novel genetic variant in CYP3A4" *J. Natl. Cancer Inst.* 90: 1225-1229.

(12) ARRANZ, M.; COLLIER, D.; SODHI, M.; BALL, D.; ROBERTS, G.; PRICE, J.; SHAM,

P.; KERWIN, R. (1995): "Association between clozapine response and allelic variation in 5-HT_{2A} receptor gene" *Lancet* 346: 281-282.

(13) DAVEN, C.; BUREAU, R.; RAULT, S. (2000): "Relationship between the 5-HT_3 receptor pharmacophore and the conformations of 5-hydroxytryptamine" *Pharm. Pharmacol. Commun* 6: 73-76.

(14) LIMA, J.J.; THOMASON, D.B.; MAHOMED, M.H.N.; EBERLE, L.V.; SELF, T.H.; JOHNSON, J.A. (1999): "Impact of genetic polymorphisms of the β_2-adrenergic receptor on albuterol bronchodilator pharmacodynamics" *Clin. Pharmacol. Ther.* 65: 519-525.

(15) JOHNSTONE, R.W.; RUEFLI, A.A.; SMYTH, M.J. (2000): "Multiple physiologica functions for multidrug transporter P-glycoproteins?" *TIBS* 25: 1-6.

(16) ZHELEZNOVA, E.E.; MARKHAM, P.; EDGAR, R.; BIBI, E.; NEYFAKH, A.A.; BRENNAN, R.G. (2000): "A structure-based mechanism for drug binding by multidrug transporters" *TIBS* 25: 39-43.

(17) CASTAING, M.; BROUANT, P.; LOISEAU, A.; SANTELLI-ROUVIER, C.H.; SANTELLI, M.; ALIBERT-FRANCO, S.; MAHAMOUD, A.; BARBE, J. (2000): Membrane permeation by multidrug-resistance-modulators and non-modulators: effects of hydrophobicity and electric charge" *J. Pharm. Pharmacol.* 52: 289-296.

(18) MICKLEY, L.A.; LEE, J.; WENG, Z.; ZHAN, Z.; ÁLVAREZ M.; WILSON, W.; BATES, S.E.; FOJO, T. (1998): "Genetic polymorphism in MDR-1: a tool for examining allelic expression in normal cells, unselected and drug-selected cell lines, and human tumors" *Blood* 91: 1749-1756.

(19) SAMBROOK, J.; FRITSCH, E.F.; MANIATIS, T. (1989): Molecular cloning: A Laboratory Manual. 2nd ed.; Cold Spring Harbor Laboratory Press, Cold Spring Harbor. New York.

(20) GANGULY, A.; ROCK, M.J.; PROCKOP, D.J. (1993, 1994): "Conformation-sensitive gel electrophoresis for rapid detection of single-base differences in double-stranded PCR products and DNA fragments: evidence for solvent-induced bends in DNA heteroduplexes" *Proc. Ntl. Acad. Sci. USA* 90: 10325-10329. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 91: 5217.

(21) KOSTRIKIS, L.G.; TYAGI, S.; MGLANGA, M.M.; HO, D.D.; KRAMER, F.R. (1998): Spectral genotyping of human alleles" *Science* 279: 1228-1229.

(22) MIZUGAKI, M.; HIRATSUKA, M.; AGATSUMA, Y.; MATSUBARA, Y.; FUJII, K.; KUVE, S.; NARISAWA, K. (2000): "Rapid Detection of CYP2C18 genotypes by real-time flurescence polymerase chain reaction" *J. Pharm. Pharmacol.* 52:199-205.

(23) SERVICE, R.F. (1998): "Microchip arrays put DNA on the spot" *Science* 282: 396-399.

(24) BROUSSEAU, TH. (1999): "Genetique et intervention thérapeutique" *Ann. Pharm. Fr.* 57: 56-60.

(25) GENOME NEWS (1999): "Do-it-yoursef gene watching" *Science* 286: 444-447.

III. La Glicobiología: Una nueva vía para el diseño de fármacos y reactivos para diagnóstico

JOSÉ A. CABEZAS FERNÁNDEZ DEL CAMPO

Académico de Número

I. INTRODUCCIÓN (1, 2, 3)

Probablemente la nota que puede considerarse como más peculiar para definir lo esencial del contenido de la nueva rama de la Ciencia denominada **Glicobiología** sería la que se refiere a la participación de los glúcidos en las funciones biológicas.

De ello se deduce que habrá que conocer previamente los aspectos principales acerca de la naturaleza de estas moléculas glucídicas; o sea, su composición y estructura químicas, así como algunas propiedades físico-químicas, para tratar de investigar después su participación en las funciones biológicas de los seres vivos, tanto procariontes como eucariontes.

Pero no solamente deberá afrontarse el estudio de dichos glúcidos —también llamados, aunque impropiamente, hidratos de carbono o carbohidratos—, sino que habrá que abordar lo relativo a las enzimas que catalizan los procesos en que ellos intervienen. Y no hay que olvidar que tales glúcidos pueden hallarse libres o combinados.

Una vez conocidas algunas de las funciones biológicas en que participan las sustancias glucídicas y las enzimas con ellas relacionadas, en situaciones de normalidad (fisiológicas), podrá intentarse determinar la índole de las alteraciones patológicas que la ausencia, exceso o disfunción de unas y otras ocasionan. En la práctica, este enfoque racional del problema se realiza frecuentemente invirtiendo el orden de actuación: Por la anomalía en una etapa en que participaría la sustancia (o la

enzima) objeto de estudio, si es causando un fallo apreciable, se suele tratar de conocer la actividad de la misma cuando las circunstancias son normales.

Esta faceta de la actividad de los glúcidos y de las enzimas participantes en su metabolismo, en relación con procesos patológicos (sean éstos congénitos o adquiridos), constituye la naciente rama de la Glicobiología que se denomina **Glicopatología**.

Hallándose en posesión de un conocimiento previo de tipo general sobre el fundamento del diseño y elaboración de medicamentos, y con la información peculiar referente a los aspectos esenciales de la Glicobiología y la Glicopatología, se podrá pensar en la preparación de fármacos vinculados a dichas ramas científicas. Realmente, en ocasiones se ha hecho esto de manera un tanto empírica. Pero se tiende en la actualidad a eliminar tal empirismo cuanto sea posible: Entramos así en el terreno de la prometedora **Glicoterapéutica**.

Partiendo de esta base, cualquier procedimiento para la elaboración de un fármaco relacionado con la Glicobiología/Glicoterapéutica será aceptable si reúne las condiciones generales aprobadas para cualquier medicamento y establecidas en los protocolos legalmente autorizados. Así, podrán aplicarse (en algunas fases), desde la síntesis por métodos químicos o mediante modalidades químico-enzimáticas hasta las técnicas más vanguardistas de la Biotecnología. Nos hallaremos en el primer caso en el campo de la **Glicotecnología**, mientras que en el último será en el de la **Glicobiotecnología**.

A todas las materias de estudio relacionadas con los glicoconjugados antes mencionadas (Glicobiología, Glicopatología, Glicoterapéutica, Glicotecnología y Glicobiotecnología) algunos autores las engloban bajo el epígrafe de **Glicociencia**.

Veamos seguidamente algunos aspectos sobre los avances producidos en las etapas más decisivas en que se ha ido logrando ese conocimiento glicocientífico, para poder comprender mejor la situación de este complejo asunto en el momento presente.

II. ANTECEDENTES HISTÓRICOS Y NOMENCLATURA (4, 5, 6, 7)

Cronológicamente, se puede situar el nacimiento de la Glicobiología en época coincidente con la de la Bioquímica, a lo menos en sus líneas generales. De ésta, a su vez, puede considerarse a la Glicobiología como una *rama*; de forma similar a como lo es la Enzimología. No obstante, por lo que se verá después, quizá sea más apropiado atribuir a la Glicobiología el carácter de una *orientación peculiar* o *variante* de la Bioquímica. En efecto, al centrarse ésta en el estudio de las facetas estructural y metabólica de la tradicional Química Biológica, no suele generalmente abordar de manera profunda las cuestiones de tipo funcional determinadas por los glicoconjugados.

La Tabla I resume algunos datos particularmente destacados correspondientes a los tres grandes periodos que podrían diferenciarse en este largo y desigual proceso del origen y constitución del cuerpo de doctrina de la actual Glicobiología.

Tabla I

Glicobiología

Antecedentes

— Remotos (desde mediados del siglo XVII hasta 1957)	
1805 BOSTOCK (médico inglés)	Distingue el mucus del albumen de la gelatina
1826 GMELIN	Logra precipitar por el ácido acético el mucus
1835 DE SAUSSURE	Denomina "Muzin" la sustancia viscosa del mucus
1865 EICHWALD (médico ruso trabajando en Alemania con SCHERER)	Presencia de glúcidos en mucinas de caracol y de algún tipo de quiste ovárico. Def. de mucinas: Formadas por "genuina proteína y otra porción que se libera como azúcar".

(continúa)

TABLA I *(continuación)*

1885 HAMMASTER	Mucinas de gland. submax. ("Glykoproteide")
1890 HOFMEISTER	Ovoalbúmina
1894 MÖRNER	Ovomucoide
1897 ZANETTI	Seromucoide
1909 LEVENE	"Ribose" (Tetranucleótidos)
1928 HAWORTH; HUDSON; REEVES	(Conformación ≠ configuración de glúcidos)
1929 LEVENE	"Deoxyribose". Paradigma coloidal
1934 KLENK	"Neuraminsäure"; "Gangliosid"
1936 BLIX SVENNERHOLM;	(Mucina submax.)
1945 GOSTTSCHALK	(Sialidasa = Neuraminidasa)
1945 MEYER	"Complex Carbohydrates"
1946 STACEY	"Acid Mucopolysaccharides"
1955 MASAMUNE, etc.	"Proteoglycans"
— Próximos	
1957 MONTREUIL	Nomenclatura, métodos-estructura de "Glicoconjugués" (1973)
1970 SHARON	Lectinas
— Actualmente	
1980 Grupos europeos, norteamericanos y japoneses.	(IGO), simposios bienales

Debe destacarse a este propósito que en época tan relativamente remota como el año 1865 en que el conocimiento químico y bioquímico de los tres grandes grupos de principios inmediatos orgánicos (glúcidos, lípidos y prótidos) era aún muy escaso, ya se apunta por Eichwald una definición de mucinas (que son una clase de glicoproteínas) esencialmente válida en nuestros días (véase en la Tabla I).

Y más tarde, cuando una sistemática rigurosa hubiera podido inducir a considerar como glicoconjugados a los compuestos integrados por un componente glucídico (ribosa o desoxirribosa) y otro no glucídico (base púrica o pirimídica), las particularidades de la molécula resultante (un nucleósido) hicieron que no se la incluyera como glicoconjugado; ni, obviamente, a sus derivados: nucleótidos y ácidos nucleicos. Tal distinción se sigue manteniendo.

Términos como "Muzin", "Glykoproteide", "Complex Carbohydrates", mucoproteidos, etc., significaban conceptos muy distintos según los diferentes autores y aun a veces para un mismo investigador según las épocas, hasta mediados del presente siglo.

Por ello, decía con humor en 1957 uno de los fundadores de la Glicobiología, el Profesor de Lille Jean Montreuil, que "sería dar pruebas de gran optimismo el creernos en la Edad Media de nuestros conocimientos en materia de glicoproteidos, y es mucho más prudente considerarnos todavía en plena Prehistoria, por cuanto aún estamos en la búsqueda de un lenguaje".

Es a partir de 1957 cuando se comienza a poner cierto orden en la arbitraria y prolija nomenclatura acerca de los numerosos y variados compuestos denominados "glycoconjugués" en 1973 por el citado Montreuil.

Diversos autores han ido realizando la doble tarea de avanzar en el conocimiento estructural —base de cualquier intento racional al respecto— y de asignarle un nombre conveniente, aprovechando frecuentemente los datos de otros investigadores anteriores, como los indicados en la Tabla I.

También en este sentido, ha resultado muy fecunda la iniciativa del Profesor Montreuil de celebrar en 1973, en Lille (Francia), un simposio que, si no fue el primero, sí constituyó el punto de arranque definitivo para la convocatoria de otros con frecuencia bienal. El buen resultado logrado en aquellos años decidió a los organizadores a constituir, en 1983, con motivo del simposio de Ronneby (Suecia), la "Organización Internación [para el estudio] de Glicoconjugados" (IGO = "International Glycoconjugate Organization").

Del centenar de participantes en Lille en 1973, se ha ido incrementando gradualmente el número acercándose al millar en 1979, y rebasándolo completamente después, aunque con lógicas oscilaciones motivadas por circunstancias diversas (lugar del simposio, proximidad en el tiempo con otros, etc.).

Análogamente, de unos cuantos temas centrales discutidos en 1973 (estructura de glicoproteínas, ácidos siálicos, glicosidasas, etc.) se ha

pasado a otros, más o menos relacionados con éstos, o profundizado en el conocimiento de aquéllos. Un resumen de los temas preferentemente tratados en dichos simposios fue expuesto por S. Kornfeld en el celebrado en Tokio en 1999. (Véase, con algunas pequeñas modificaciones, en la tabla II).

TABLA II

Año	Principales progresos en el conocimiento de los glicoconjugados obtenidos durante los últimos 70 años
1930	Determinación de la naturaleza química de las glicoproteínas (Neuberger)
1940	Primeras rutas de biosíntesis con participación de los glicosilnucleótidos (Leloir)
1950	Estructura de los grupos sanguíneos y de los lipopolisacáridos bacterianos
1960	Estructura de las glicoproteínas; determinación de las actividades glicosiltransferásicas; primeros receptores de glicoproteínas.
1970	Establecimiento de las grandes rutas biosintéticas; importancia de las lectinas; patologías dependientes de fallos del catabolismo de los glicoconjugados.
1980	Descubrimiento de enfermedades vinculadas a fallos en la biosíntesis de glicoconjugados; clonación de genes de glicosiltransferasas.
1990	Participación de los glicanos en las funciones biológicas (desarrollo, etc.) y en sus alteraciones (cáncer, SIDA, inflamación, etc); estructura tridimensional de glicoproteínas (principalmente del virus de la gripe), de transferasas y de glicosidasas.

Y si esto es, a muy grandes rasgos, el pasado remoto (Tabla I) y el próximo (Tabla II) sobre los principales hitos de la Glicobiología en sentido amplio, puede aventurarse que el contenido de la Tabla III —que recoge los nombres de las sesiones del simposio japonés de 1999— constituye una información actual cuali y cuantitativamente de los ejes más destacados de la investigación en este campo.

Tabla III

Temas expuestos oralmente y mediante póster en el XV Simposio Internacional sobre Glicoconjugados (Tokio, Agosto de 1999)

Oral presentations	Poster presentations
Key note Lecture International Glycoconjugate Organization Award Glyco XV Lecture Plenary lectures Concurrent symposia 1. Gene targeting-1 2. Structural glycobiology-1 3. Recognition molecules 4. Synthetic glycoconjugates in materials science 5. Gene targeting-2 6. Structural glycobiology-2 7. Intracellular transport and quality control 8. Biopolymers and bioligomers 9. New structures and new analytical methods-1 10. Therapeutic strategies on cancer and other diseases 11. Biosynthesis and regulation of glycans-1 12. Plant glycobiology 13. New structures and new analytical methods-2 14. Inflammation 15. Biosynthesis and regulation of glycans-2 16. Lower organisms 17. Biological basis for diversity of glycans-1 18. Late breaking topics-1 19. Glycans and recognition molecules in ECM biology 20. Infection-1 21. Biological basis for diversity of glycans-2	Poster sessions 1. Glycosyltransferases 2. Trafficking, transport, sorting and subcellular localization 3. Recognition molecules 4. Biosynthesis and regulation of glycans 5. Recognition in lower organisms 6. Plants 7. Cancer 8. New analytical methods 9. Novel structures 10. Three dimensional structures 11. Synthetic glycoconjugates in material science 12. Biopolymers and bioligomers 13. Glycosidases 14. Transporters 15. Core peptides of proteoglycans and mucins 16. Gene targeting 17. Genetic regulation 18. Signal transduction 19. Cell-ECM interaction 20. Cell-cell interaction 21. Neuroscience: glycoproteins and proteoglycans 22. Neuroscience: glycolipids 23. Immunology 24. Infection 25. Pharmaceutical applications 26. Inflammation 27. Neurological, cardiovascular and metabolic diseases 28. Immunoglobulin 29. Synthetic chemistry

(continúa)

TABLA III *(continuación)*

Oral presentations	Poster presentations
22. Late breaking topics-2 23. Fertilization and embryogenesis 24. Infection-2 25. Chemical, enzymatic, and combinatorial synthesis-1 26. Evolution and xenotransplantation 27. Neuroscience-1: glycolipids 28. Glycotechnology 29. Chemical, enzymatic, and combinatorial synthesis-2 30. Disease markers 31. Neuroscience-2: glycolipids 32. Organ and tissue engineering 33. Biological basis for diversity of glycans-3 34. Signal transduction 35. Carbohydrates in immunology 36. Bioengineering of yeast	30. Glycotechnology 31. Organ and tissue engieneering 32. Bioengineering of yeast

También respecto a las deficiencias en la nomenclatura antes mencionadas, conviene añadir que en español resulta inapropiado el uso de términos como *"hidratos de carbono"*, *"carbohidratos"* o *"hidrocarbonados"* con que frecuentemente se denominan a las sustancias cuyo nombre, *"glucide/glucid"*, aconsejado por una Comisión Internacional de Nomenclatura en 1923, tiene su equivalente castellano en *"glúcido"*. En efecto, literalmente "hidrato de carbono" debería sólo aplicarse a compuestos cuya fórmula empírica pueda expresarse por un número igual de átomos de carbono respecto al número virtual de moléculas de agua; o sea, para C_n deberá haber $(H_2O)_n$. Esto se cumple en el caso de moléculas como la glucosa, etc. ($C_6H_{12}O_6$), donde para C_6 puede escribirse $C_6(H_2O)_6$. Pero no para la desoxirribosa, la fucosa, la N-acetilglucosamina, etc. Inversamente, moléculas como el ácido láctico, CH_3-CHOH-COOH, cumplen en su fórmula empírica, C_3 $(H_2O)_3$, el ser un "hidrato de carbono"... y no lo son.

Por otro lado, el uso de la palabra *azúcar* tampoco resulta adecuado, dado el significado asociado con algo dulce, cualidad que no todos los

glúcidos poseen, existiendo incluso sustancias de mayor poder edulcorante que ellos y cuya naturaleza nada tiene en común.

Asimismo, la raíz griega γλυκύς, traducida como "*gluco*", tiende a originar confusión en nombres como "*glucoproteínas, glucopéptidos, glucosidadas*", etc., al inducir a pensar que la molécula de glucosa es la implicada, cuando esto es excepcional (en el caso de las glicoproteínas y glicopéptidos), y sólo es un grupo más de enzimas (si se trata de hidrolasas que liberan moléculas glucídicas pudiendo ser éstas glucosa, manosa, galactosa, fucosa, etc.). Por ello, resulta más justificado el uso de las expresiones: glicoproteínas, glicopéptidos, glicosidasas (salvo que se desee significar en ese caso que es precisamente la enzima que libera glucosa la hidrolasa implicada); y paralelamente, Glicobiología (no Glucobiología) y glicoconjugados (en vez de glucoconjugados).

III. ASPECTOS ESTRUCTURALES DE LOS GLICOCONJUGADOS (1, 3, 7, 8, 9)

No procede entrar aquí en la descripción detallada de las características estructurales de los glicoconjugados, tema que empieza a hallarse satisfactoriamente expuesto en algunas obras recientes de Bioquímica o Biología Molecular, o puede encontrarse en publicaciones como las arriba indicadas. Sin embargo, sí parece indispensable tratar de definir brevemente algunos conceptos como los siguientes, complementando tal información con algunas fórmulas o esquemas.

Así, *glicoconjugados* —equivalente a "*glycoconjugués*" y a "*glycoconjugates*"— son aquellos compuestos resultantes de la unión fuerte (covalente) de una fracción glucídica (denominada "*glicano*") y otro componente, que puede ser protídico o lipídico. En el primer caso se trata de las *glicoproteínas* (o *glicoproteidos*) (Fig. 1), de los *glicopéptidos* o de los *péptidoglicanos*. Estos últimos compuestos contienen los *glicosaminoglicanos*, antes llamados "*mucopolisacáridos*" o "*mucopolisacáridos ácidos*".

Si el enlace, fuerte, tiene lugar entre porción glicánica y lípido, se trata de los *glicolípidos*. Entre los *glicoesfingolípidos ácidos* destacan los gangliósidos. (Fig. 2).

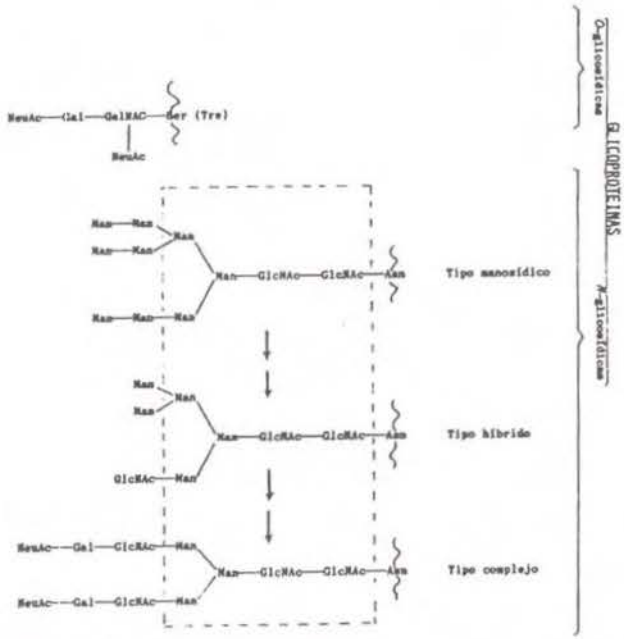


Figura 1. Ejemplos de las estructuras más comunes en glicoproteínas de procedencia animal. Asn, Asparragina; Gal, Galactosa; GalNac, N-acetilgalactosamina; GlcNAc, N-acetilglucosamina; Man, manosa; NeuAc, Ácido N-acetilneuramínico

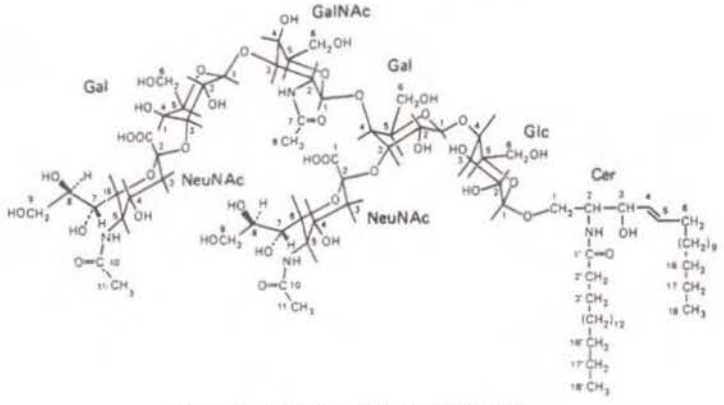


Figura 2. Estructura del gangliósido GD_{1a}

Un tercer grupo de glicoconjugados cuyo estudio se ha intensificado notablemente en la última década comprende compuestos conteniendo *fosfatidilinositol* unido a lípidos fuertemente, que además se enlazan (mediante etanolamina) a una porción peptídica; por lo que podrían considerase como *glicolipoproteidos*, si bien este término se usa aún poco. (Fig. 3).

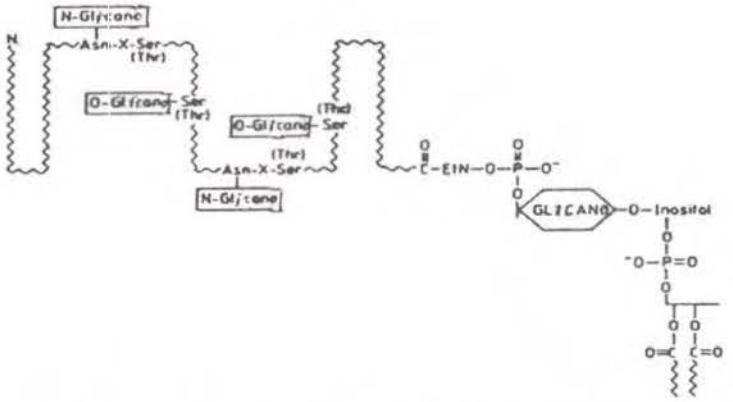


Figura 3. Estructura de un glicoconjugado conteniendo fosfatidilinositol, donde también se muestran otros tipos de uniones.

En el caso de las glicoproteínas y glicopéptidos, las uniones pueden ser o bien del tipo N-glicosídico (que algunos denominan N-glicosílico) o del tipo O-glicosídico (paralelamente, O-glicosílico). Las primeras resisten la hidrólisis por los álcalis mucho más que las segundas, las cuales son propias de los glicoproteidos denominados *mucinas*. Ejemplos de cómo se efectúan estas uniones, la estructura de algunos monosacáridos y arninoácidos participantes, con otros datos, se indican en la figura 4.

Pueden coexistir estas diferentes uniones en una misma molécula de glicoproteína, según se vio en la figura 3. Para el presente estudio, tienen especial interés las glicoproteínas en que predominan las uniones de tipo "–NH-glicosídico" (conocidas también como de tipo "N-glico-

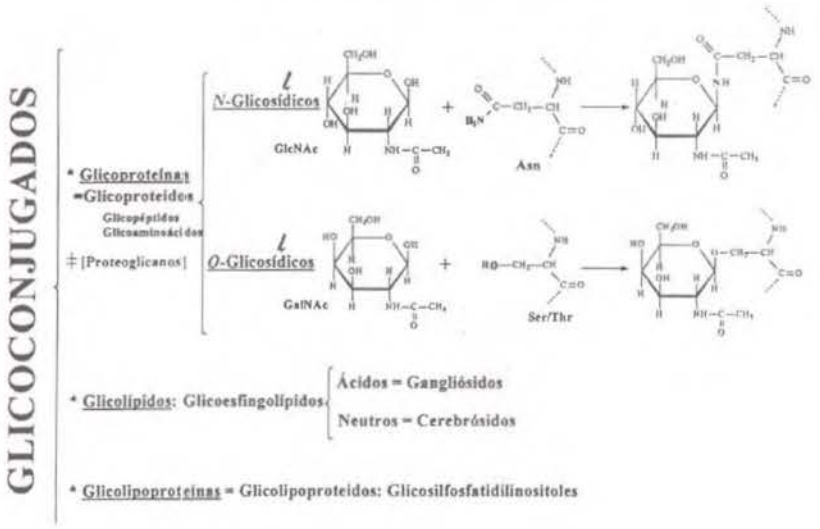


Figura 4. Clasificación de los glicoconjugados.

sídico"), que pertenecen a los subgrupos "manosídico", "híbrido" o "complejo" (Fig. 1), algunas de las cuales pueden ser bi-, tri-, tetra- o penta-antenarias, según el respectivo número de cadenas (= antenas) que las integran.

Como monosacáridos más frecuentemente participantes en la composición de la fracción glicánica deben citarse a: Manosa, galactosa, N-acetilglucosamina, L-fucosa, ácido siálico y N-acetilgalactosamina. Recientemente esta lista se ha visto ampliada con la incorporación de otros, especialmente en las glicoproteínas de invertebrados, levaduras, algas o bacterias, donde se han detectado otros monosacáridos poco habituales como: 6-Desoxialtrosa, 2-O-metilfucosa, 3-O-metilgalactosa, 3-O-metilglucosa, etc.

En las uniones N-glicánicas el enlace se realiza entre el monosacárido N-acetilglucosamina y el aminoácido asparragina (Fig. 4), hallándose éste unido a otro cualquiera (X), el cual se enlaza a serina o treonina. Es decir, se requiere la secuencia: Asn-X-Ser(Thr), según se indica en la Fig. 3.

Se reserva el término "*glicosilación*" para expresar que el proceso en virtud del cual se realizó tal unión fue catalizado por enzimas, mientras que si tal enlace es consecuencia de reacciones químicas sin participación enzimática (caso de unión de la hemoglobina con la glucosa) debe denominarse "*glicación*".

* * *

El fenómeno de la *microheterogenicidad* con la subsiguiente producción de *microformas* (o mejor, *glicoformas*) se debe al peculiar mecanismo de biosíntesis propio de los glicoconjugados; (véase en el capítulo VI). Resumidamente:

— Proteínas diferentes producidas por *la misma célula* pueden contener *glicanos completamente distintos*.

— *Cada cadena polipeptídica* contiene frecuentemente *múltiples sitios de glicosilación*.

— *En cada sitio* de glicosilación puede hallarse una *estructura glicánica distinta* ("*heterogeneidad* de sitio").

— Dicha "heterogeneidad de sitio" tiene *composición definida y reproducible*, en condiciones constantes.

— Hay aspectos de la *glicosilación* que son *específicos del tipo de célula*.

La enorme complejidad estructural que se presenta en los glicoconjugados puede comprenderse fácilmente si se compara este aspecto con otras entidades moleculares como los péptidos o los ácidos nucleicos, por ejemplo. En éstos, 4 aminoácidos o 4 nucleótidos diferentes pueden originar únicamente 24 tetrámeros distintos, mientras que 4 monosacáridos diferentes pueden formar, hipotéticamente, hasta ¡36.000! tetrasacáridos distintos. Basta tomar en consideración esto para comprender el hecho de que pueden entrar en juego, en el caso de los glúcidos, factores como los siguientes:

— Naturaleza de los monosacáridos componentes.

— Tipos de enlace con la cadena peptídica.

— Tipos de enlace entre los monosacáridos y posición de dichos enlaces (ramificación).

— Anomerías α y β.

— Secuencia de la cadena glicánica.

En la práctica, casi sólo se han encontrado en glicoproteínas de eucariontes superiores las siguientes posibilidades (que, no obstante, producen un elevado número de combinaciones):

Tabla IV

Principales monosacáridos integrantes de glicoconjugados con indicación de sus anómeros y sitios de unión

Monosacárido	*Abreviatura*	*Anómero*	*Sitio de unión*	*Observaciones*
Galactosa	Gal	α β	3 3, 4	
Manosa	Man	α β	2, 3, 6 4	
N-Acetilglucosamina	GlcNAc	β	2, 3, 4, 6	
N-acetilgalactosamina	GalNAc	α	3	
L-Fucosa	Fuc	α	2, 3, 4, 6	
Ácido N-acetilneuramínico	NeuAc	α	3, 6, 8	
Ácido N-glicolilneuramínico	NeuGc	α	3,6	
Xilosa	Xyl	β	2	Solamente en plantas

En la ardua tarea de determinar la estructura de glicoconjugados han destacado los equipos dirigidos por J. Montreuil en Francia, H. Vliegenthart en Holanda y G. Tettamanti en Italia, entre otros.

Esta gran diversidad de estructuras de los glicoconjugados, determinada por su fracción glicánica, ayuda a comprender la capacidad de éstos para poder efectuar funciones biológicas muy variadas, cuya interpretación sin embargo aún es incompleta o imprevisible.

IV. ASPECTOS FUNCIONALES: FISIOLÓGICOS Y PATOLÓGICOS. MARCADORES TUMORALES (5, 7, 10, 11, 12)

Es sabido que desde que se publicó en 1953 el importantísimo trabajo de Watson y Crick sobre la estructura del ADN, se ha concedido, justificadamente, un papel decisivo a los ácidos nucleicos (ADN y ARN) en la trasmisión del mensaje en clave que codifica la estructura de las proteínas. Siendo éstas parte esencial de la composición del ser vivo, y generalmente de naturaleza proteídica las enzimas que catalizan todos los procesos que ocurren en los organismos, la grandísima significación biológica de ácidos nucleicos y proteínas resulta evidente.

Por el contrario, a los glúcidos se les había considerado hasta la década de 1970 principalmente como materiales ricos en energía (glucosa, glucógeno, etc.) o con funciones de protección o sostén (celulosa, quitina, etc.) únicamente.

Ahora bien, en el intervalo de tiempo comprendido entre 1971 y 1975, como ha escrito el mencionado Profesor Montreuil, se «produjo la acumulación de una considerable cantidad de resultados, habiendo evolucionado este campo de forma espectacular, a causa de que muchos científicos comprendieron la importancia metabólica biológica y asimismo patológica de los glicoconjugados, desde que se descubrió que:

— Son antígenos de la superficie celular, y su estructura o posición en la membrana pueden ser modificadas en células transformadas y en las cancerosas.

— Son sitios receptores de virus.

— Desempeñan un papel importante en la adhesión y en el reconocimiento intercelular.

— Actúan en la conformación de las cadenas peptídicas.

— Los grupos glicánicos regulan la salida de proteínas al exterior de la célula y regulan el catabolismo por el hígado de las proteínas circulantes, y el tiempo de vida de proteínas y células».

Desde 1975 se ha confirmado y ampliado esta visión —tan distinta de la anterior a dicha fecha— al comprobar su papel como moléculas de importancia primordial en facetas estructurales y funcionales, por formar parte de:

— Membranas celulares (actuando de receptores).

— Colágeno.

— Inmunoglobulinas.

— Hormonas (tirotropina, gonadotropina, etc.).

— Enzimas (glicosidasas, proteasas, ribonucleasa B, glucosa-oxidasa, etc.).

— Factores de coagulación (fibrinógeno).

— Agentes de protección y lubricación (mucinas).

— Con actividad antivírica (interferón γ).

— Con actividad transportadora (de Fe^{2+}, la transferrina).

— Promotores de la proliferación de linfocitos (interleucina 2).

— Anticoagulantes en peces de la Antártida (glicoproteínas).

— Relacionados con el funcionamiento de sistema nervioso (gangliósidos).

— Lectinas; (véase capítulo siguiente).

Ha tardado en calar en la mente de algunos científicos lo que en 1975 expresó otro eminente especialista, el Profesor Nathan Sharon, de Israel, cuando proclamó: "Realmente, conocemos ahora que la especificidad de muchos polímeros naturales está escrita en términos de componentes glucídicos, no de aminoácidos o nucleótidos. Es ésta una idea no enteramente nueva, pero que sólo recientemente se ha llegado a consolidar".

Una decena de años después, el Premio Nobel francés François Jacob señalaba que "los glúcidos representan la tercera dimensión en la biología celular".

Estrictamente, hay que recordar que resulta aún difícil distinguir cuál es la parte que corresponde en esas funciones biológicas al componente glicánico y cuál al glicoconjugado en su conjunto. En 1993, Ajit Varki, eminente especialista de Estados Unidos, destacó que en relación con el "papel biológico de los oligosacáridos: todas las teorías son correctas", "pudiéndose encontrar excepciones a todas ellas". Y lo resume así:

1.º) «Es difícil predecir *a priori* las funciones de los oligosacáridos de un glicoconjugado.

2.º) La misma secuencia oligosacarídica puede mediar diferentes funciones en sitios distintos dentro del mismo organismo, o en diferentes momentos de su ontogenia.

3.º) Los papeles biológicos específicos y cruciales de los oligosacáridos actúan frecuentemente mediados por secuencias oligosacarídicas inusuales, por la presencia inusual de secuencias terminales comunes, o por ulteriores modificaciones de los propios monosacáridos».

Mientras en unos casos se deduce que la presencia del componente glicánico es necesaria para la función biológica —probablemente por contribuir al plegamiento de la proteína o a su estabilidad, o a su inserción en la membrana, etc.— en otros parece no ser indispensable. Es más, en ciertos ensayos *in vitro* (aunque no *in vivo*) algunos glicoconjugados muestran mayor actividad si la molécula no contiene dicho componente glicánico o éste se halla sólo en parte.

Como resumen, un aspecto comúnmente aceptado es el de que los glicoconjugados participan como mediadores en procesos de "reconocimiento específico" o que "modulan" tales procesos biológicos, según estableció hace algunos años otro distinguido especialista, Sen-Itiroh Hakomori, en Estados Unidos.

¿Cabría tratar de centrar este aspecto funcional, pero sólo en relación con una molécula particularmente atractiva por sus peculiaridades como es la del ácido *N*-acetilneuramínico (véase su estructura en la figura 2), en vez de intentarlo con toda (o gran parte de) la fracción glicánica?

Trabajos llevados a cabo principalmente por el insigne investigador alemán Roland Schauer han puesto de manifiesto que los ácidos siálicos —cuyas estructuras se conocen para una cuarentena larga— presentan "varias importantes, e incluso diametralmente opuestas funciones biológicas", entre las que se hallan:

— Las debidas a su carga negativa.

— Su influencia sobre la estructura de macromoléculas.

— Su protección frente a ataques enzimáticos.

— Su influencia sobre la especificidad de antígenos.

— Ser sitios de reconocimiento.

— Poseer efecto anti-reconocimiento (efecto de enmascaramiento).

Parece deducirse que algunas funciones de los glicoconjugados pueden estar determinadas, al menos parcialmente, por participar en ellas, con sus características, los ácidos siálicos.

* * *

En estrecha relación con estos aspectos de los glicoconjugados se halla también el complejo tema de los **marcadores tumorales**, que aquí sólo se tocará brevemente, en cuanto éstos pertenezcan por su composición a esta clase de moléculas.

Un marcador ideal sería aquel que detectara sensible y específicamente en suero una anomalía tumoral. Sus aplicaciones para la vigilancia y tratamientos ulteriores de dicha alteración resultan obvias.

¿Cumplen estas condiciones los glicoconjugados que se han ido seleccionando —inicialmente de modo empírico, en general— para servir de marcadores tumorales?. ¿Cuál es el fundamento bioquímico de su uso?

Puede decirse que, sin ser perfectos —al no ser rigurosamente específicos—, ciertos marcadores tumorales que son glicoconjugados son buenos candidatos para la detección serológica en cuestión o para la monitorización ulterior, por motivos como los siguientes:

— Ser sustancias generalmente de alta polaridad (al contener residuos de ácidos siálicos), por lo que entran rápidamente en la fase acuosa de la circulación.

— Suelen ser moléculas (véase más adelante) producidas en exceso (respecto a las escasas concentraciones normales) o con estructuras peculiares (frecuentemente con "truncación" y menor tamaño en las cadenas glicánicas, o ramificación incrementada de las uniones β1-6), como consecuencia de una desregulación de la actividad de las enzimas que catalizan su biosíntesis (las glicosiltransferasas, véase capítulo VI).

— Son resistentes a la degradación, precisamente por contener el componente glicánico (que protege a la proteína de la acción de las propias proteasas endógenas).

¿Qué estructuras de glicoconjugados están más asociadas a algún tipo de cáncer como marcadores del mismo?.

Con las limitaciones antes apuntadas, el *antígeno carcino-embrionario* ("carcinoembryonic antigen") (CEA), glicoproteína descubierta en el glicocalix de las células epiteliales del tubo digestivo fetal, resulta útil en la monitorización de operados de cánceres de colon, mama y pulmón.

En relación con el CEA —que sigue siendo el marcador más valioso para el cáncer colo-rectal, a pesar de sus limitaciones puesto que no siempre se detecta en cánceres— cabe recordar que se ha venido utilizando habitualmente para la detección, pronóstico y seguimiento de estos pacientes, incluso sin conocerse datos rigurosos de su composición química; es decir, su uso ha sido en gran parte empírico. En efecto, sólo a partir de 1987 se empezó a conocer la estructura química de su porción glucídica, y hasta 1991 no se sabía que esta glicoproteína aparece expresada como dos formas (de pesos moleculares 200.000 y 130.000) en tejidos normales, mientras que en células cancerosas aparece como una única glicoproteína de tamaño molecular variable, inferior a 170.000, a causa de las diferencias en el proceso de la *N*-glicosilación.

Otro antígeno importante, que es asimismo un glicoconjugado (aunque no una glicoproteína sino un ganglióside), es el denominado *CA 19.9* (= *"carbohydrate antigen 19.9"*). Usado también ampliamente

como marcador del cáncer colo-rectal, su sensibilidad es inferior a la del CEA, considerándosele como más útil para el pronóstico que para el diagnóstico de esta enfermedad.

Por otro lado, van adquiriendo cada vez mayor importancia los datos sobre "*carbohydrate signals*" relacionadas con metástasis y pronóstico de carcinomas humanos. Se incluyen como tales (para el cáncer colo-rectal) a los siguientes compuestos: *Sialosil-Tn, sialosil-dimérico-Le^x (EH6), antígenos de los grupos sanguíneos ABH* y *ciertos oligósidos* (= oligosacáridos) con ramificación estructural tipo β1-6. La composición de sus epitopos contiene moléculas de: Ácido siálico (prácticamente el *N*-acetilneuramínico), *N*-acetilgalactosamina, β-galactosa o L-fucosa. En cuanto a los antígenos Le^a y Le^b, aunque fueron hallados inicialmente en los eritrocitos y se ha comprobado después que sus moléculas determinantes proceden del plasma, no está aún claro en qué tejidos se originan tales glicoconjugados. Otro antígeno de carácter glicoconjugado se halla relacionado con el cáncer de próstata.

La correlación entre algunos marcadores glicánicos y ciertos tipos de tumores se resume en la tabla V:

TABLA V

Marcadores glicánicos y localización del tumor

Marcador glicánico	*Tipo de tumor*
Le^x Sialil-Tn Sialil-Le^x dimérico Ramificaciones β1-6 de los *N*-glicanos	Colo-rectal
Galβ1-4GlcNAcβ1-6Gal/GalNAc	Gástrico
H/Le^y/Le^b Le^a-Le^x	Pulmón
Sialil-Le^x dimérico Le^x	Vejiga
Le^b	Mama
Le^a, Le^x, Le^y	Esófago
GM_3/GD_3	Melanomas

Asimismo, los cambios estructurales que se presentan en los glicoconjugados de la superficie de las células malignas pueden ser detectados por unos reactivos que gozan de gran especificidad: las *lectinas*. De ellas nos ocuparemos seguidamente, en el capítulo V.

Por último, en relación con este asunto, también unas anomalías funcionales que aparecen en casos de cáncer pueden ser estudiadas determinando los cambios en las actividades en ciertas enzimas implicadas: las *glicosiltransferasas* y las *glicosidasas* que participan en su metabolismo. En este caso, lo que se valora no es el efecto —el metabolito cuya estructura y/o concentración normales se han modificado—, sino la "herramienta" de tal cambio —la enzima—, cuya actividad se ha alterado por causas genéticas o por circunstancias de su entorno. (Otros aspectos se ampliarán en el capítulo VI).

V. LECTINAS (13, 14, 15, 16)

La República de Estonia, al igual que las otras Repúblicas Bálticas, es sabido que ha sufrido a lo largo de su historia numerosas ocupaciones y anexiones de su territorio motivadas por el afán expansionista de sus vecinos —alemanes, suecos y rusos, principalmente— desde la Edad Media hasta época reciente, en que ha recuperado su independencia. La influencia de tales vicisitudes anteriores ha dejado inevitablemente su impronta hasta en hechos como el siguiente:

En la Universidad del Kaiser de la ciudad estona de Dorpat (actualmente Tartú), en 1888 presentaba (en alemán) su Tesis Doctoral en Medicina Hermann Stillmark, titulada "Ueber Ricin, ein giftiges Ferment aus den Samen von Ricinus comm. L. und einigen anderen Euphorbiaceen".

Desde aquella fecha se fue sucesivamente averiguando que sustancias similares al "fermento venenoso de las semillas de ricino", la ricina:

— Producían hemaglutinación (1898) (M. Elfstrand), por lo que se las llamó *aglutininas*.

— Se hallaban también en bacterias (1902) (R. Kraus).

— Las existentes en plantas no siempre eran tóxicas (1907) (K. Landsteiner).

— La extraída de la *Canavalia* (concanavalina A) era cristalizable (1936) (J.B. Sumner).

— También habia aglutininas en virus (1941) (G.K. Hirst).

— Su especificidad muy selectiva para unirse a glúcidos —por mecanismos que recordaban a los procesos de carácter enzimático o de antígeno-anticuerpo, aun sin poseer propiedades de tipo inmune— era su característica esencial; por lo que se aconsejaba denominarlas *lectinas* (del latín legere = leer, elegir) (1954) (W.C. Boyd).

— Asimismo, se hallaban en mamíferos; por ejemplo, en el hepatocito (1974) (G.Ashwell).

— Aunque se consideró como una propiedad importante su aparente carencia de actividad enzimática, desde 1996 se admite que algunas pueden tener actividad como hidrolasas.

Por todo ello, quizá una *definición* actual que recoja sus características principales podría ser: Lectinas son proteinas o (mayoritariamente) glicoproteinas, de tipo no inmune, presentes en toda clase de organismos, capaces de unirse específica y reversiblemente a glúcidos. Generalmente, constan de múltiples subunidades (pudiendo entonces originar *isolectinas*) y suelen aglutinar células y precipitar glicoconjugados.

Las lectinas *se unen* por su porción peptídica (incluso en el caso de ser glicoproteinas) en zonas con forma de cavidades (nichos) o bien en ranuras de escasa profundidad con los glúcidos, pudiendo ser éstos oligosacáricos (preferentemente), o una parte de un monosacárido, mediante puentes de hidrógeno, fuerzas de Van der Waals o interacciones hidrofóbicas que se originan entre grupos –OH u otros de aceptores y donadores, etc. Los aminoácidos tirosina, triptófano o histidina de cadenas laterales suelen hallarse situados en los sitios en los que se reconoce al glúcido.

La *clasificación* de las lectinas intenta hacerse actualmente tomando en consideración su estructura química, puesto que ya se conoce incluso la estructura tridimensional de algunas de ellas; pero pueden seguir siendo útiles las clasificaciones fundadas en su especificidad respecto a los monosacáridos integrantes de glicoconjugados o las relacionadas con el

origen del material de procedencia y las funciones específicas. Así, se sabe que para la manosa, por ejemplo, son muy selectivas las lectinas procedentes de semillas de guisante, lenteja y haba; análogamente, para la *N*-acetilglucosamina, las de trigo, patata, tomate, etc.; y par la L-fucosa, la de anguila, etc.

Puede ser suficiente para nuestros fines destacar que existen lectinas de procedencia animal, que suelen clasificarse en los tres apartados que se indican en la tabla VI, donde se señalan algunas de sus características.

Tabla VI

Ejemplos y características de algunas lectinas de células animales

Tipo de dominio de reconocimiento glucídico	*Dependencia de Ca^{2+}*	*Poseen grupos*	*Ligando*	*Localización*	*Nombre usual*	*Otro nombre/ subgrupo*	*Función*
P	+	-SS-	Man-6-P	Superf. cel. Lumen	Receptora de Man-6-P		Situar enzimas lisosómicas (procedentes del ap. de Golgi) en el lisosoma
C	±	-SS-	Asialoglicoproteínas (endog.)	Superf. cel. (prot. transmembranal) Lumen	Receptora de asialoglicoprot.		Regulación de vida media de ciertas glicoproteínas (?)
C	±	-SS-	Sialil-Le^x (endógeno)	Idem	Selectina	ELAM-1	Fenómenos de adhesión celular
C	±	-SS-	Sialil-Le^x (endógeno)	Idem	Selectina	ELAM-1	Idem.
S	—	-SH-	β-galactósidos	Citoplasma extracelular	Galectinas		

Otro grupo de lectinas que ha merecido atención especial recientemente es el de las "*siglecs*" (de "*s*ialic acid binding *i*nmunoglobulin superfamily *lec*tin*s*"), caracterizadas por reconocer íntegramente la molécula del ácido siálico. Se distinguen hasta cinco, que son: sialoadhesina (="siglec-1"), CD22 (= "siglec-2"), CD33 (="siglec-3"), "siglec-4a" y "siglec-4b".

En cuanto a sus *funciones*, las lectinas de procedencia vegetal podrían, por su carácter tóxico a veces, proteger a las plantas que las biosintetizan de ser ingeridas por animales herbívoros. En el caso de la ricina (la primera lectina descubierta), se sabe actualmente que su mecanismo de acción se efectúa al facilitar uno de sus polipéptidos su fijación a la superficie de la célula receptora, para así después entrar en ella otro polipéptido (que es el dotado de toxicidad).

También se conoce la acción mitogénica a cargo de algunas lectinas de procedencia vegetal *(fitoaglutininas)*, así como sus relaciones con simbiontes de plantas.

Funciones muy variadas son realizadas por lectinas de procedencia animal, algunas de las cuales de indican en la tabla VI. Las *selectinas*, por ejemplo, pueden pertenecer al subgrupo *L* (localizadas en los *l*infocitos), como la LECAM-1; al *E* (situadas en el *e*ndotelio), como la LECAM-2 y ELAM-1; o al *P* (también en el endotelio y en las *p*laquetas), como la LECAM-3 y otras. Todas ellas reconocen como ligando al sialil-Le^x, y en particular a algún otro ligando distinto de éste pero generalmente muy parecido en cuanto a estructura.

Un fenómeno que ha sido últimamente muy investigado es el de la adhesión de neutrófilos y monocitos a células endoteliales, que se ve favorecida por las selectinas E y P en situaciones de inflamación. El diseño de fármacos que inhiban la acción de estas selectinas resulta muy atractivo, para así lograr un nuevo grupo de medicamentos antiinflamatorios. También se están investigando fenómenos de adhesión similares en las situaciones de metástasis. Las propias lectinas constituyen, a su vez, potenciales marcadores tumorales. Por ejemplo, la *galactina-3*, cuya concentración en suero aparece incrementada en situaciones de metástasis más que en tumores primarios.

Asimismo, se estudia poder neutralizar la infección del virus causante del SIDA, en que se halla implicada la glicoproteína vírica *gp120*.

Anterior a este aspecto es el prolongado esfuerzo que se viene haciendo para inhibir la acción de la lectina mejor conocida de procedencia vírica, que es la *hemaglutinina* del virus de la gripe. A pesar de conocerse con detalle sus características y decisiva participación en el ciclo vital de dicho virus, no se ha logrado bloquear artificialmente éste, con lo que se conseguiría un efecto preventivo o terapéutico.

Parece ser, sin embargo, que esto sí se ha conseguido recientemente —después de largos años de trabajo— en relación con otra glicoproteína importante de la superficie de dicho virus —que no es una lectina sino una enzima—, la *sialidasa* (también, impropiamente, llamada *"neuraminidasa"*), para la cual sí se han sintetizado análogos estructurales de su sustrato natural (el ácido siálico unido a otro residuo), que inhiben su acción, interrumpiendo el ciclo de propagación del virus en las etapas finales, al no poder difundirse los nuevos viriones.

En fin de cuentas, se considera actualmente que todas estas y otras actividades relacionadas con las lectinas forman parte de un conjunto de interacciones mediante procesos de reconocimiento de "célula-célula" —en que participan glicoconjugados (frecuentemente lectinas)—, y de "célula" con otras muy diferentes entidades, que pueden ser: Virus, bacterias, toxinas, anticuerpos, enzimas, hormonas, glicoproteínas (preferentemente desialiladas)... u otras lectinas.

En consecuencia, agentes muy variados (inhibidores de diversa índole, algunos anticuerpos, etc.) pueden bloquear esas interacciones y tener aplicación potencial como fármacos o como reactivos para diagnóstico. Tales agentes podrían ser: Análogos estructurales que imitan la estructura del ligando natural ("*neoglicoproteínas*" obtenidas por síntesis), pero que carecen de actividad e interrumpen el proceso biológico alterado, vacunas, agentes químicos (inmuno- o radioterápicos), etc.

En otro orden de cosas, la especificidad de las lectinas –muy estricta a veces y escasa en otras— ha hecho que estas sustancias se hayan convertido desde hace pocos lustros en herramientas analíticas que per-

miten con relativa sencillez obtener valiosa y rápida información acerca de: a) La estructura de una glicoproteína (por ejemplo permitiendo averiguar si ésta pertenece al tipo –NH- o al O-glicosídico); b) la naturaleza de sus monosacáridos componentes; y c) incluso (con ayuda de endo- y exoglicosidasas) el orden o secuencia en que se hallan enlazados dichos monosacáridos.

VI. ALTERACIONES EN LA GLICOSILACIÓN: SU REPERCUSIÓN EN LAS PROPIEDADES BIOLÓGICAS. INHIBIDORES (7, 17, 18, 19, 20, 21)

Siendo en muchos casos los glicanos que integran los glicoconjugados biopolímeros de importancia esencial para el desempeño de las funciones biológicas, como lo son también los ácidos nucleicos y las proteínas, difieren de estos dos grupos de sustancias por poseer estructuras con frecuentes, intensas y heterogéneas ramificaciones (excepto los glicosaminoglicanos), mientras ácidos nucleicos y proteínas son de estructura primaria carente de tales ramificaciones.

Volviendo a lo anterior, la explicación de la constancia esencial de la estructura glicánica radica en que sí existe, normalmente, un mecanismo de control mediante una "codificación indirecta" (pero eficaz), que es la determinada por la actuación de unas proteínas que están directamente codificadas: las enzimas responsables tanto de su biosíntesis —glicosiltransferasas y glicosidasas (que son proteínas intrínsecas localizadas en las membranas del retículo endoplásmico rugoso y del aparato de Golgi)—, como de su degradación (otras glicosidasas, pero de localización lisosómica). H. Schachter, en Canadá, ha contribuido notablemente al conocimiento de dichas glicosiltrasferasas.

Según ya anticipamos en el capítulo IV, si por causas genéticas o medioambientales se produce inactividad o disfunción en el actuar de tales enzimas, podrán surgir trastornos más o menos graves, que pueden incluso manifestarse o no en el fenotipo.

Teniendo en cuenta las funciones de esta fracción glicánica (capítulo IV), puede ser útil:

a) Averiguar, en el caso de glicoproteínas de tipo complejo (Fig. 1), si la interrupción de la biosíntesis glicánica, mediante diferentes inhibidores en las distintas etapas del proceso, repercute intensamente en las propiedades biológicas conocidas, propias de la molécula completa que, en otro caso, se formaría normalmente.

b) Tratar de utilizar ese efecto inhibidor en la biosíntesis de glicoproteínas pertenecientes, por ejemplo, a virus (del SIDA, gripe, etc.), con vistas a interrumpir el ciclo biológico de éstos; o en procesos tumorales, para frenar la proliferación celular incontrolada.

¿Se ha logrado un resultado eficaz en su uso como potenciales agentes terapéuticos? Hasta la fecha, aún no. Algunos motivos son: a) Falta de especificidad para sólo bloquear la enzima que interesa. Así, la castanospermina también inhibe la α-glucosidasa lisosómica, la maltasa, etc. b) Pueden resultar tóxicos o de estabilidad escasa, etc. No obstante, cabe la posibilidad de hallar otros que carezcan de sus inconvenientes; y, además, han permitido avanzar en el conocimiento de las rutas de biosíntesis de los glicoconjugados, ya que su efecto ocasiona un incremento en la concentración del compuesto de la etapa precedente, por acúmulo anormal del mismo.

Algo similar ocurre si, por deficiencias genéticas o del entorno, no se degradan normalmente los glicoconjugados, ocasionándose las denominadas *alteraciones por almacenamiento ("storage disorders").*

Obviamente, el conocimiento de las peculiaridades de las alteraciones moleculares producidas en esos glicoconjugados y el origen/causa del trastorno deberán preceder a la búsqueda del posible tratamiento, éste mediante el fármaco adecuado.

Ya desde la década de los años 1930 se intuyó fundadamente la influencia del factor genético en tales trastornos al observarse la mayor incidencia de algunos de ellos en poblaciones con marcada endogamia (judíos askenazíes, etc.).

En la actualidad se distinguen tres grandes grupos en relación con este asunto, motivados por: a) *Fallos en la degradación de glicoproteínas*, por disfunciones en las actividades de enzimas tales como α- y β-manosida-

sa, sialidasa, β-galactosidasa, α-L-fucosidasa, β-*N*-acetilhexosaminidasa, etc., hasta hacer un total de una decena de trastornos bastante bien conocidos; b) *fallos en la degradación de glicolípidos*, ocasionados por disfunciones de ciertas enzimas como algunas de las anteriores (o sus isoenzimas A y B, en el caso de la β-*N*-acetilhexosaminidasa) o de otras enzimas identificadas, siendo cada alteración generalmente llamada con el nombre del investigador que la descubrió, conociéndose en número aproximado a la decena; y c) *fallos en la degradación de los glicosaminoglicanos* (antes denominados "mucopolisacáridos", y por ello denominadas tales anomalías "mucopolisacaridosis"), en que enzimas como β-glucuronidasa, β-galactosidasa, α-L-iduronidasa, etc., son las afectadas, hasta completar asimismo otra decena de trastornos bien identificados.

Antes de concluir este capítulo, quizá convenga indicar que, en el caso de los *ácidos siálicos*, como moléculas muy significativas, a las que ya antes nos referimos, la concentración de ácido *N*-acetilneuramínico se incrementa frecuentemente de manera inespecífica en muy variados trastornos. Estudios ya clásicos, en los que a mediados de la década de 1960 fueron pioneros L. Warren y M.C. Glick, en Estados Unidos, mostraron las peculiaridades de los glicopéptidos de las células transformadas (fenómeno Warren-Glick). Las alteraciones en las estructuras de las glicoproteínas producidas por tumores también han sido después analizadas por A. Kobata y otros en Japón. Un aspecto particular e inexplicado es el siguiente: En carcinomas humanos de colon se aprecia *des*acetilación, en la posición 9 del ácido *N*-acetil-9-*O*-acetilneuramínico de glicoproteínas, mientras que en melanomas se detecta acetilación incrementada en esa misma posición (en este caso para el ácido siálico integrante del ganglíósido GD_3).

Asimismo, coincidiendo con procesos tumorales, se puede detectar un incremento en la concentración de otro ácido siálico, el *N*-glicolilneuramínico, que en los adultos humanos se presenta normalmente en concentraciones escasísimas o nulas. Además, tales fenómenos suelen ser muy distintos y hasta de signo contrario en el estado embrionario.

Parece deducirse que la complejidad estructural de muchos glicoconjugados va en paralelo con una complejidad funcional, de no fácil interpretación, sobre todo en situaciones anormales.

VII. ASPECTOS GLICOTERAPÉUTICOS Y GLICOBIOTECNOLÓGICOS (2, 5, 9, 12, 15, 16, 20, 21)

Empíricamente en sus comienzos y después mediante diseño que aspira a ser racional, se han logrado o se está intentando conseguir medicamentos que pueden encuadrarse en el contexto actual de la Glicoterapéutica, según el sentido más amplio de este concepto.

Después de expuesta en los capítulos anteriores la heterogeneidad del tema, se comprende que resulta difícil exponer con la precisión, amplitud y profundidad deseables todo lo relativo a fármacos de tipo glicoconjugado; por ello, nos limitaremos ahora a indicar solamente algunos aspectos destacados.

1.º) Cronológicamente, entre los primeros medicamentos pertenecientes a este grupo, que toma en cuenta sobre todo la composición química, se halla el de los **antibióticos aminoglicosídicos**. Constan de una o más moléculas de monosacáridos aminados, unidos mediante enlace glicosídico a un anillo de hexosa. Recordemos entre ellos a: Estreptomicina, neomicina, gentamicina, kanamicina, tobramicina, etc. Se considera que su mecanismo de acción consiste en el bloqueo irreversible de la biosíntesis de proteínas por la bacteria, al unirse el antibiótico con receptores de la subunidad 30S del ribosoma bacteriano. A sus reconocidas ventajas terapéuticas se han contrapuesto algunos inconvenientes —efectos nefro y ototóxicos (debidos a su poder inhibidor sobre fosfolipasas, esfingomelinasa y ATPasas)—, si bien últimamente tiende a volverse a un mayor empleo de ellos para combatir infecciones bacterianas resistentes a otros antibióticos o para paliar alergias a otros fármacos.

2.º) Asimismo, es de uso relativamente antiguo la **heparina,** empleada como agente anticoagulante. En la actualidad se está ampliando este campo con nuevos derivados.

3.º) La regeneración de cartílagos articulares, etc., necesaria en situaciones de artrosis, está siendo tratada con fármacos que contienen **sulfato de glucosamina**. Además del aporte de un precursor de glicosaminoglicanos, componentes del cartílago, se estima que tal agente puede actuar inhibiendo hidrolasas que degradan dicho cartílago, y qui-

zá también bloquear mecanismos responsables de la producción de los siempre peligrosos radicales libres.

4.º) La glicosilación anormal de la membrana (que se presenta en glomerulonefritis), la glicosilación anormal de las inmunoglobulinas IgG (en artritis reumatoide y en enfermedades autoinmunes), e IgE (en alergia y asmas), así como la glicosilación anormal del epitelio intestinal (en la enfermedad celíaca), se trata de combatir con agentes como ciertas **citocinas** (= *citoquinas*). Estas sustancias son un grupo de proteínas/glicoproteínas con efectos muy diversos, que regulan la respuesta inmune y también la hematopoyesis. En la enfermedad celíaca, la acción de la gliadina del gluten, que actúa como lectina en el intestino, puede ser neutralizada mediante **polímeros de *N*-acetilglucosamina**.

5.º) Agentes que se opongan a la adhesión a endotelios y subsiguiente infiltración de leucocitos, en casos de inflamación, ya dijimos se están estudiando para intentar obtener un grupo de **antiinflamatorios** distinto del de los más usuales actualmente, y que actúen mediante mecanismos diferentes a los de éstos.

6.º) Agentes preventivos son las **vacunas,** y también se pueden considerar así a **fármacos** que controlen o combatan en fases iniciales las infecciones. Vacunas con polisacáridos conjugados, en que estas sustancias se acoplan a una proteína transportadora, se están estudiando en relación con enfermedades producidas por meningococos A y C, neumonías y fiebre tifoidea. Los compuestos con carácter de glicoconjugado con **actividad antigripal** últimamente autorizados, constituidos por análogos estructurales del sustrato de la sialidasa del virus de la gripe tipos A y B (comentados en el capítulo IV), resultan fármacos potencialmente interesantes —aunque no superiores a las modernas vacunas antigripales—, que probablemente aún necesitan ser más investigados en algunos aspectos.

7.º) Algunos trastornos como los del grupo CSGS, ocasionados por deficiencias relacionadas con la **manosa**, parece ser pueden ser tratados con éxito mediante aporte de suplementos de este monosacárido.

8.º) Análogamente, se están revisando inhibidores de la glicosilación, como la **swaimsonina**, con objeto de que sirva como agente quimioprotector en pacientes de cáncer que reciben quimioterapia citotóxica.

9.º) Otro grupo de glicoconjugados potencialmente interesantes —aunque, obviamente, no son fármacos curativos— son los **marcadores**, relacionados con la detección y seguimiento del curso de tumores, metástasis, artritis reumatoide o trastornos metabólicos, etc.

10.º) Los compuestos incluidos en los apartados anteriores pueden ser obtenidos por síntesis o biosíntesis, y los siguientes por las técnicas de **Biotecnología** (que serán aquí de **Glicobiotecnología**).

11.º) Un ejemplo es el de la mencionada **eritropoyetina** (EPO) humana, hormona que, producida principalmente por el riñón en el ser humano adulto, es llevada a la médula por la circulación sanguínea. Una vez obtenida de la orina de pacientes de una forma de anemia, se ha purificado y caracterizado bioquímicamente, deduciéndose que se trata de una glicoproteína tetraanternaria, con un alto contenido glucídico (40%), con uniones de tipos –NH- y O-glicosídicos. Por todo ello, su obtención por tecnología recombinante es muy difícil, puesto que es necesario atender no sólo a la biosíntesis de la secuencia protídica correcta sino también a la estructura de la fracción glicánica. Por ejemplo, si resulta ser bianteriana en vez de tetraantenaria, la actividad biológica es notablemente menor. Para suplir algunas deficiencias estructurales, pueden usarse en las etapas finales del proceso de obtención biotecnológica (que es la vía usada actualmente) enzimas capaces de efectuar glicosilaciones y desglicosilaciones adecuadas.

12.º) Otro glicoconjugado igualmente de gran interés es la enzima **glucocerebrosidasa** (glicosilceramidasa), destinada a tratar pacientes de la enfermedad de Gaucher (que son deficitarios de ella). Se ha usado la enzima procedente de placenta humana; pero asegurándose que iría a su sitio "diana". Para ello, se la trata convenientemente con otras glicosidasas hasta conseguir que pueda ser dirigida a las células reticuloendoteliales (mediante el reconocimiento del extremo de manosa por dichas células). Pero resulta rentable obtener glucocerebrosidasa por técnicas recombinantes, incorporando en ella el componente de manosa adecuado. Ya en 1998 unas 1700 personas de todo el mundo se habían beneficiado de este tratamiento, que ha sido el primero perteneciente a "terapia por reemplazamiento de enzima".

13.º) Indiquemos únicamente que otras glicoproteínas de interés terapéutico, como las siguientes, de importancia bien conocida, han podido ser también obtenidas por Glicobiotecnología: **Activador tisular del plasminógeno (tPA), activador urinario del plasminógeno (uPA), interleucina-2, interferón-β (IFN-β), interferón-γ (IFN-γ), factores VII, VIII, IX y X de la coagulación, antígeno CD-4 soluble (sCD-4), gonadotropina coriónica humana (hCG), hormona foliculoestimulante (FSH), α1-antitripsina (α1-AT), factor estimulante de colonias granulocitarias (G-CSF)** y **factor estimulante de colonias granulocitarias y macrofágicas (GM-CSF)**.

Aparte del problema de la obtención por la vía que sea de un glicoconjugado pensado para utilizarse como fármaco y que reúna las condiciones estructurales convenientes, otras facetas complementarias (pero no menos importantes) deben tomarse en consideración. Así, las de su vida media, solubilidad, biodistribución e inmunogenicidad.

14.º) De **otros aspectos**, sólo enunciaremos su nombre. El lector deducirá inmediatamente la importancia de los mismos:

— Tratamiento de glicoconjugados para **evitar el rechazo de trasplantes**.

— Interacciones entre glicoconjugados de **parásitos** y sus células hospedadoras.

— Obtención de **neoglicoconjugados**, o sea de compuestos glucídicos sintéticos o semisintéticos unidos con cualquier otra molécula natural o artificial.

15º) Finalmente, en conexión con este punto, piénsese en las posibilidades de los glicoconjugados como **reactivos para diagnóstico** o como **herramientas analíticas**, en ejemplos como los siguientes:

— Obtención de *anticuerpos monoclonales* respecto a antígenos marcadores (de tumores) de carácter glicánico.

— *Enzimas* que pueden ser indicadores de trastornos congénitos o adquiridos relacionados con glicoconjugados.

— *Lectinas*: Endógenas (que actúan como receptores y hasta potenciales marcadores tumorales) y exógenas (como herramientas analíticas muy específicas y sensibles).

8. BIBLIOGRAFÍA

(1) Cabezas, J.A. (1995): *Anal. Real Acad. Farm.* 41: 177-188.
(2) Cabezas, J.A. (1995): *Biochem. Educ.* 23: 82-83.
(3) IUPAC-IUB Joint Commissión on Biochemical Nomenclature (JCBN). Nomenclature of glycolipids. Recommendations (1997) *Glycoconjugate J.* 16: 1-6.
(4) Cabezas, J.A. (1994): *Biochem. Educ.* 22: 3-7.
(5) Cabezas, J.A. (1993): Glicobiologia: Antecedentes y evolución de su contenido. Discurso Inaugural del Curso Académico. Universidad de Salamanca. Salamanca. (También existe versión en inglés del mismo).
(6) Cabezas, J.A. (1996) *Glycoconjugate J.* 13: iii-vii.
(7) Montreuil, J.; Vliegenthart, J.F.G.; Schachter H. (Editores) (1995): *Glycoproteins*. Amsterdam Elsevier.
(8) Cabezas, J.A. (1995): *Mundo Científico* 159: 626-632.
(9) Cabezas, J.A. (1995): *Biochem. Educ.* 23: 167-170.
(10) Schauer, R. (1997): *Trends Glycosc. Glycotechnol.* 9: 315-329.
(11) Schauer, R. (1998): *CMLS, Cell. Mol. Life Sci.* 54: 1330-1349.
(12) Sánchez-Martín, M.-M.; Cabezas, J.A.; Ortega, S.; García, J.; García-Criado, F.; Pina, J.; Gómez-Alonso, A. (1999): *Cancer Letters* 141: 73-77.
(13) Lis, H.; Sharon, N. (1998): *Chem. Rev.* 98: 637-674.
(14) Montreuil, J.; Vliegenthart, J.F.G.; Schachter, H. (Editores) (1997): *Glycoproteins II.* Amsterdam. Elsevier.
(15) Sánchez, M.-M.; Cabezas, J.A. (1998): *Biochem. Educ.* 26: 309-312.
(16) Cabezas, J.A.; Hannoun, C. (1990): *Inv. Ciencia* 160: 62-67.
(17) Cabezas, J.A.; Calvo, P. (1984): *Inv. Ciencia* 94: 86-95.
(18) McDowell, N.; Schwarz, R.T. (1988): *Biochimie* 70: 1535-1549.
(19) Elbein, A.D. (1991): *FASEB J.* 5: 3055-3063.
(20) Cabezas, J.A.; Sánchez-martín, M.-M.; Ortega S.; García, J.; García-Criado, F.J.; Pina, J.; Gómez-Alonso, A. (1999): *Glycoconjugate J.* 16: S101.
(21) Kobata, A. (1998): *Glycoconjugate J.* 15: 323-331.

IV. Nuevos alimentos y nuevas tecnologías emergentes de la Industria Alimentaria

BERNABÉ SANZ PÉREZ

Académico de Número

I. INTRODUCCIÓN

En el mundo industrializado y consumista en el que vivimos se dispone de muchos y variados productos alimenticios, generalmente de excelente calidad, atractivamente envasados, sanitariamente seguros y apoyados en una publicidad abundante (y tal vez excesiva) que nos anima a degustar los más de 50.000 géneros alimenticios distintos que se ofrecen y exponen a la venta en las estanterías de tiendas y supermercados.

La tecnología alimentaria dispone de muchos sistemas de obtención, preparación y conservación de alimentos, cuyos desarrollos han permitido en sólo 10 años multiplicar por 6 los productos alimenticios del mercado. Sin embargo, los alimentos que ofrece la Naturaleza y que utiliza como materia prima la moderna industria alimentaria son los mismos que consumía el hombre prehistórico: semillas, frutas, hortalizas, carne de aves y mamíferos, leche, huevos, pescados y miel.

El concepto de **nuevo** se emplea en este trabajo en un sentido amplio que abarca a todos los productos alimenticios obtenidos con tecnologías desarrolladas en los últimos 30 años y que han permitido: 1.º) Aumentar y diversificar los géneros disponibles y 2.º) Mejorar su vida útil o vida de almacén, haciéndolos, al mismo tiempo, más atractivos sensorialmente y menos sensibles a las pérdidas nutritivas, es decir, manteniendo en mejores condiciones sus atributos originales.

II. CONCEPTO DE NUEVOS ALIMENTOS

Para el DHSS, Departamento de Salud y Seguridad Social del RU (1980), son "los producidos de materias primas que no se habían utilizado antes para la alimentación humana o que sólo lo habían sido en cantidades pequeñas y los obtenidos mediante procesos nuevos o muy modificados que antes no se habían empleado para la fabricación de alimentos". Realmente se trata de productos o géneros alimenticios, derivados de alimentos naturales, a los que, o bien se les han sustraído algunos de sus ingredientes propios, o bien se les han incorporado otros de los que carecían —en su estado natural— los alimentos de los que proceden. Entre los nuevos alimentos también se incluyen los obtenidos con nuevas tecnologías y los conservados o procesados con los llamados "tratamientos o sistemas combinados" (Tabla 1).

TABLA 1

Algunos ejemplos de nuevos alimentos

1. Análogos cárnicos o carnes artificiales.
2. Alimentos funcionales
3. Farmalimentos o nutracéuticos
4. Alimentos **Light**
5. Alimentos transgénicos
6. Conservados con procesos combinados:
   - Atmósferas modificadas y refrigeración
   - Inoculadas con bacterias lácticas y refrigeración
   - Bacteriocinas y refrigeración
   - Precocinados y congelados o refrigerados
   - Alimentos **sous vide**
7. Alimentos procesados con métodos acalóricos emergentes
   - Presiones hiperbáricas
   - Campos eléctricos pulsados de alta intensidad
   - Irradiación ionizante
   - Campos magnéticos oscilantes.
   - Pulsos lumínicos
   - Manotermosonicación

Las industrias que pretendan poner en el mercado nuevos alimentos, han de tener en cuenta que, como los elaborados por métodos tradicio-

nales, deben cumplir una serie de normas legales, concretamente, que sean sanitariamente seguros, es decir, libres de todo riesgo para el consumidor, que su valor nutritivo sea el adecuado para el sector de la población al que van destinados y que se etiqueten de acuerdo con lo ordenado en las normas españolas y comunitarias. Además serán agradables al paladar, con una vida de almacén, o vida útil, lo más larga posible y fáciles de guardar y preparar en la cocina; por otra parte, ni ellos ni sus envases contaminarán el medio ambiente y por la cuenta que le trae al fabricante, serán económicamente competitivos para que el consumidor se sienta satisfecho con la relación de calidad/precio.

Desde el punto de vista empresarial y antes de la fabricación, deberán estudiarse las condiciones del mercado en el que van a competir y la normativa legal alimentaria que deben cumplir. Sólo entonces se procede a su formulación y fabricación, aspectos éstos que aquí no trataremos por que caen fuera de los fines de este trabajo, no obstante, conviene dejar claro que en su elaboración hay cuatro fases bien diferenciadas:

— Selección de materias primas y de otros ingredientes.

— Procesamiento higiénico y correcto de las mismas.

— Envasado y etiquetado irreprochables.

— Control eficaz de todas las fases de fabricación.

III. ANÁLOGOS CÁRNICOS

Conocidos también como **sucedáneos de la carne, carnes artificiales, carnes de imitación** o **carnes fabricadas**, son productos alimenticios elaborados con proteínas vegetales y de otros orígenes distintos de la carne muscular (Tabla 2), cuyo coste es mucho más barato que los cortes o piezas vendidos en las carnicerías y cuyo valor nutritivo es alto. Comenzaron a elaborarse experimentalmente a finales de la década de 1960 pero hasta los últimos años 80 no lo fueron a escala comercial.

Los análogos cárnicos no deben confundirse con las **carnes reestructuradas**, **reformadas** o **reconstituidas** que se elaboran con "recor-

tes" de carne muscular troceada o picada, más o menos finamente. La mayoría de las carnes reestructuradas sólo se componen de recortes de carne muscular, mezclados con otros tejidos animales; sin embargo, en algunos países también se permite la incorporación de otras fuentes proteicas más baratas (por ejemplo, de especies de pescado infravaloradas y de legumbres); en este caso los porcentajes de sustancias no cárnicas añadidas no superarán los límites máximos autorizados legalmente. Las cantidades adicionadas deben expresarse claramente en el etiquetado del producto final.

Para elaborar los análogos cárnicos se extrae la proteína de las materias primas (Tabla 2) y a continuación se trata de manera que el producto terminado se parezca lo máximo posible a la carne muscular a la que ha de sustituir. Para ello se emplean tres sistemas de fabricación distintos: Hilado o formación de fibras, extrusión termoplástica y gelación térmica (Lawrie, 1998).

TABLA 2

Proteínas empleadas para fabricar análogos cárnicos

— De origen vegetal: algodón, cacahuete, cártamo, *semillas de soja* y otras
— De origen animal: Vísceras y tejidos infrautilizados, como pulmones, bazo, estómagos, *plasma sanguíneo*
— De origen microbiano: Levaduras, *"quorn"*

El sistema de hilado o de formación de fibras fue patentado por Boyer en 1954 pero no se empleó a escala industrial hasta treinta años más tarde. Como se aprecia en el diagrama de flujo de la figura 1, los productos vegetales (soja, cacahuetes, etc.) una vez molturados y desgrasados se alcalinizan hasta un pH de 10-11, para extraer sus proteínas. El líquido obtenido se concentra hasta un extracto seco de 11-15% y se mantiene a 40-45ºC hasta que alcanza la viscosidad requerida. Este extracto o concentrado proteico se conoce industrialmente como *solución* o *baño de hilado*. La solución de hilado se pasa bajo presión por una placa, con miles

de orificios de 60-70 mm de diámetro, por los que sale formando filamentos largos y delgados que se recogen en un baño de salmuera acidificada (pH 3-4,5). A continuación los filamentos se devanan paralelamente en la superficie de un tambor, donde forman una especie de madeja. Después de un segundo baño, se estiran y tejen entre sí, incorporándoles grasa, ovoalbúmina y polisacáridos (carragenina, pectina o alginatos) para mantenerlos unidos. Además se les añaden aromatizantes y colorantes.

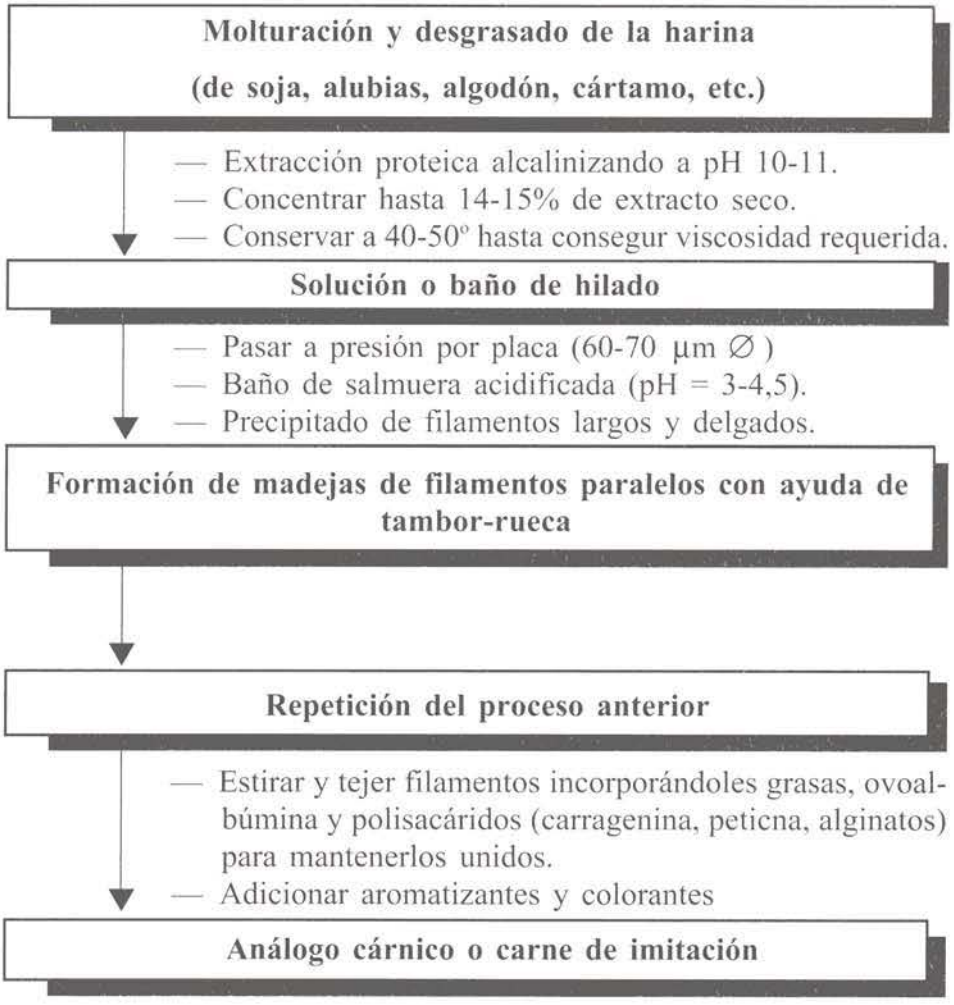


Figura 1. Diagrama de flujo de la fabricación de análogos cárnicos por el proceso de hilado de Boyer.

La extrusión termoplástica, patentada por Atkison en 1970 es el método más utilizado actualmente; se lleva a cabo con extrusionadores en los que se aplican tratamientos de temperatura alta-tiempo corto. La materia prima (harina desgrasada, ovoalbúmina, polisacáridos, aromatizantes y colorantes) se introduce en la zona de amasado del extrusionador, donde se mezcla y calienta a temperaturas de 85-100ºC. La masa así formada es empujada por el tornillo extrusor a la salida del aparato. En su recorrido, que es muy breve (12-20 segundos), alcanza una gran presión y una temperatura de hasta 170º C. Cuando la masa deja la máquina pasa bruscamente de la presión que tenía en ella a la atmosférica y al mismo tiempo se evapora instantáneamente su humedad con lo que adquiere una estructura esponjosa.

En la gelación térmica se prepara una dispersión acuosa de proteína vegetal, harina, grasa, colorantes y aromatizantes que se trata térmicamente con vapor de agua a 1 atmósfera, durante 10-15 minutos, con lo que la dispersión acuosa pasa a gel en el que permanecen unidos todos sus componentes.

Los análogos de la carne son muy nutritivos y organolépticamente la imitan muy bien, son productos que satisfacen las demandas de un sector de la población que busca alimentos nutritivos y más baratos que la carne. En ocasiones los adquieren ciertos colectivos que, por razones religiosas o de otro tipo (vegetarianos) no consumen carne animal. En EEUU se dispone desde 1960 de análogos o sustitutos de magro de cerdo cocido, de filetes de vacuno y de *beicon* (Lawrie, 1998). Algunos los conocen como *carne sintética* y posiblemente su fabricación y demanda aumentarán con el transcurso del siglo XXI debido al bajo coste de las proteínas vegetales y microbianas, en comparación con la carne corriente y a su fácil adaptación a los procesos culinarios.

IV. ALIMENTOS FUNCIONALES

El papel de los componentes nutritivos y no nutritivos de los alimentos en la posible prevención de ciertas enfermedades crónicas de carácter degenerativo y en su presentación prematura hace tiempo que ha

llamado la atención de nutrólogos, médicos y bromatólogos. Recientemente muchas empresas alimentarias han visto en algunos de estos compuestos de los alimentos una fuente importante de ingresos, debido a que son muchas las personas que han consumido tradicionalmente ciertos alimentos y condimentos al atribuirles una serie de virtudes curativas que los han convertido en remedios de determinados procesos patológicos (Hasler, 1998). Sólo así se explica la abundancia creciente de parafarmacias, establecimientos dietéticos y herboristerías y de las autoproclamadas "tiendas de alimentos sanos".

La posible relación entre la alimentación y algunas de las principales enfermedades degenerativas de los países ricos (cáncer, isquemia cardiaca coronaria, fallos cerebrovasculares y otros) preocupa por igual a la gran masa de consumidores y a prestigiosas instituciones científicas como el *U.S Department of Health and Human Services*, 1988; el *National Research Council*, 1989, la *American Dietetic Association*, 1995, etc.

El concepto de alimentos funcionales ha cambiado con el transcurso del tiempo; a principios de la década de 1970 se aplicaba a los que, además de nutrientes, poseían ciertas propiedades de interés tecnológico en Ciencia de los alimentos, por ejemplo, poder emulsionante (yema de huevo), gelificante (piel de ciruelas), capacidad de retención de agua (miel), formación de espuma (clara de huevo), etc. En cambio en la actualidad se aplica la calificación de funcional a todo alimento al que se atribuye alguna acción preventiva o curativa de determinados procesos patológicos.

El término de alimento funcional, en el sentido preventivo o curativo, se utilizó por primera vez en Japón en 1985. También este país ha sido el primero en regularlos en su *Norma para los Alimentos de Empleo Sanitario Específico*. Los alimentos que la cumplen pueden exhibir en su etiqueta un sello, autorizado por el Ministerio de Sanidad y Bienestar nipón, que así lo hace constar.

Estos alimentos carecen de rango legal en la UE y en EEUU, pero esto no significa que ciertas instancias gubernamentales no les hayan prestado atención. Por ejemplo, la Junta Directiva de Nutrición y Alimentos del Instituto de Medicina de los EEUU (IOM/NAS, 1994) los definió en 1994 como "todo alimento o ingrediente alimenticio que

proporciona algún beneficio sanitario, además de los nutrientes tradicionales que contiene".

A los compuestos funcionales de los alimentos se les está prestando en la actualidad una gran atención en medicina y salud pública debido a que, según algunas publicaciones científicas desempeñan funciones importantes en la prevención y tratamiento de ciertas enfermedades degenerativas. Se ha comprobado que muchos componentes de los alimentos carentes de valor nutritivo, especialmente los de algunas frutas, hortalizas, legumbres, especias y yerbas aromáticas son bioactivos y participan en algunos actividades metabólicas humanas. Su presencia en los alimentos consumidos desde la más remota antigüedad sugiere que no son peligrosos y que carecen de efectos secundarios perjudiciales aunque su bioactividad se parezca más a la de los fármacos que a la de los nutrientes (Wrick, 1994).

El conocimiento de los posibles efectos beneficiosos de estos compuestos alimentarios, sin valor nutritivo, ha surgido en un momento en el que el interés por la nutrición, la salud, la forma física corporal y el bienestar, en general, es máximo en los países industrializados. De otro lado, este conocimiento ha coincidido con la tendencia de todos los países a reducir los gastos de la Seguridad Social (sustitución de productos farmacéuticos registrados por genéricos, tendencia al acortamiento de las estancias hospitalarias, aumento de los tratamientos extrahospitalarios, etc.). Cada vez es más preocupante el alto coste de determinadas enfermedades crónicas (hipertensión, cardiopatías, neuropatologías diversas, etc.) cuya presentación podría reducirse y retrasarse en muchas personas mejorando sus hábitos de vida desde la niñez. Por ejemplo, evitando el tabaquismo, realizando regularmente ejercicios físicos, manteniendo un peso constante y en los países industrializados consumiendo una dieta con menor contenido graso, más pobre en grasas saturadas y más rica en fibra que la actual.

Los datos disponibles de algunos informes epidemiológicos y de ensayos *in vivo* e *in vitro* indican que una dieta fundamentalmente vegetal reduce el riesgo de padecer enfermedades crónicas, como el cáncer (Hasler, 1998). En 1992 Block y colaboradores, después de estudiar 200 informes epidemiológicos, concluyeron que el riesgo de padecer cáncer

de las personas que consumían dietas ricas en frutas y hortalizas era la mitad que el de quienes ingerían pocos alimentos vegetales. Steinmetz y Potter (1991) identificaron en los vegetales más de una docena de especies químicas distintas con actividad anticancerosa. En la actualidad estas sustancias se conocen como *fitoquímicos*.

De todos modos y antes de aconsejar a toda la población el empleo de estos "remedios" debería profundizarse más en el conocimiento de los alimentos funcionales y responder y resolver los múltiples problemas científicos y de salud pública que su empleo podría ocasionar (Tabla 3).

TABLA 3

Problemas a solucionar antes de utilizar de forma general los fitoquímicos con fines preventivos y terapéuticos

1. Establecer todas las funciones metabólicas en las que intervienen.
2. Determinar las cantidades necesarias para prevenir o retrasar la aparición de ciertos procesos degenerativos (envejecimiento, etc.).
3. Señalar los sectores de la población en los que son eficaces.
4. Estudiar los efectos secundarios cuando se ingieren a concentraciones terapéuticamente eficaces.

Contrariamente a lo sucedido con el escorbuto, el beri beri o la pelagra, las enfermedades crónicas actuales generalmente no se deben a deficiencias alimenticias que se curan incorporando a la dieta determinados nutrientes o productos químicos. Es bien sabido que el riesgo de que una persona padezca una enfermedad tiene un fuerte componente genético. Sin embargo, los conocimiento científicos actuales todavía no permiten predecir con fiabilidad y de forma barata, el tiempo que un individuo con un riesgo dado de padecer una enfermedad, debería someterse a un cambio dietético (y del estilo de vida) para retrasar la presentación de tal enfermedad.

TABLA 4

Ejemplos de alimentos funcionales

Producto	*Principios activos*	*Efectos*	*Referencias*
Ajo	Aliina → Alicina, compuestc sulfurados	Antibiótico, anticancerígeno, antihipertensivo, hipocolesterolemizante*	You y col., 1993; Ernst, 1997; Isaacsohn y col., 1998.
Arándanos	Ácido benzoico, polímero no dializable de fructosa (¿)	Curativo de infecciones urinarias	Blatherwick, 1914; Ojek y col., 1991; Avorn y col., 1994.
Avena	β-glucano	Hipocolesterolemizante	Kinosian y Eisenberg, 1998.
Brecolera	Glucosinolatos (o isotiocinatos), p. ej. Sinigrina y gluconasturtina.	Anticancerígenas	Verhoeven y col., 1997; Hecht, 1995; Thornalley, 1999.
Frutas cítricas	Limoneno, perrilol	Anticancerígenas	Elegbede y col., 1993; Ripple y col., 1998
Soja	Isoflavonas (genisteína y daidzeína), fitosteroles, etc.	Hipercolesterolemizante, anticancerígena, protectora ósea	Anderson y col., 1995; Messina y Barnes, 1991; Erdman y Potter, 1997.
Té	Polifenoles	Anticancerígeno, protege de cardiopatías coronarias	Yang y Wang, 1993; Dreosti y col., 1997
Tomate	Licopeno	Anticancerígeno	Weisburger, 1998

* Se desconoce el componente responsable de este efecto

Las hipótesis derivadas de algunos estudios epidemiológicos, generalmente caros y difíciles de comprobar con ensayos clínicos, sugieren que los cambios dietéticos y del estilo de vida podrían disminuir las enfermedades crónicas. A este respecto la mayoría de las personas acep-

tan que hay una relación de causa a efecto. Sin embargo, se desconoce si tal relación llevaría a un número suficientemente grande de personas de alto riesgo a cambiar de régimen dietético durante todo el tiempo necesario para demostrar estadísticamente que tal cambio de vida es beneficioso para la salud pública.

En la tabla 4 se señalan los alimentos funcionales que más se utilizan en el mundo occidental, sus principios activos, los efectos preventivos o curativos que se les atribuye y algunas de las referencias bibliográficas que pueden consultarse para una mejor información. A continuación nos referiremos con más detalle a los tres más estudiados, ajos, soja y brecolera.

Ajos. *Allium sativum*

Es posiblemente la hortaliza aromatizante a la que se le han atribuido más propiedades curativas a lo largo de la historia. Entre los atributos curativos que se le han adjudicado destacan: quimiopreventivo del cáncer, antibiótico, antihipertensivo e hipocolesterolemizante.

Su sabor, aroma y pungencia característicos se deben a sus abundantes componentes bioalilos, tanto liposolubles como hidrosolubles; posiblemente estas sustancias son también las responsables de los efectos atribuidos a los ajos, sin embargo, los bulbos enteros, en fase de reposo, sólo contienen unos pocos compuestos medicinalmente activos. Poseen una sustancia inodora, la aliina, que bajo la acción de una enzima, la alinasa se transforma en alicina cuando se machacan los dientes del ajo. Entonces la alicina se descompone espontáneamente y forma numerosos compuestos azufrados en algunos de los cuales se han investigado sus efectos quimiopreventivos.

Se ha visto que los componentes del ajo inhiben la tumorogénesis en diversos modelos experimentales (Reuter y col., 1996). Pero hay otras publicaciones que demuestran que es ineficaz. Posiblemente los resultados contradictorios alcanzados se deben al diferente tipo de compuesto o preparación de ajo utilizado por los distintos investigadores y quizá también a que las cantidades de compuestos organosulfurados de los ajos frescos y de los productos del comercio varían mucho.

Diversos estudios epidemiológicos demuestran que los ajos pueden disminuir el riesgo de cáncer en el hombre (Durant y col., 1993). Un ensayo relativamente grande de caso/control realizado en China (You y col, 1993) puso de manifiesto una relación inversa entre el riesgo de cáncer de estómago e ingestas crecientes de ajos. Más recientemente (Steinmetz y col, 1994) en un estudio con más de 40.000 mujeres menopáusicas se vio que el consumo de ajos estaba relacionado con la disminución de casi el 50% del riesgo de padecer cáncer de colon. Sin embargo, no todos los estudios epidemiológicas han puesto de manifiesto un efecto protector de los ajos frente a la cancerogénesis. En una revisión de 12 estudios de caso/control, llevada a cabo en 1991, se encontró que 8 evidenciaban una asociación negativa, 1 no mostró asociación alguna y sólo 3 presentaron una asociación positiva. En otra revisión de 20 estudios epidemiológicos, que realizó Ernst en 1997, se sugiere que las hortalizas bulbosas, incluida la cebolla, confieren un efecto protector frente a los cánceres del tracto gastrointestinal.

Los ajos también se han recomendado en la prevención de las enfermedades cardiovasculares debido posiblemente a sus propiedades antihipertensivas. No obstante, los resultados disponibles son todavía insuficientes para recomendarlos como terapéutica clínica rutinaria de los sujetos hipertensos. Sus efectos cardioprotectores posiblemente se deben más a su efecto hipocolesterolémico.

Un análisis de los resultados de 5 ensayos clínicos (Warshafsky y col., 1993), en los que participaron 410 pacientes, elegidos al azar y controlados con placebo, demostró que la ingestión media de 900 mg de ajos por día (que equivalen a medio diente de ajo) disminuía los niveles totales de colesterol del suero en un 9% aproximadamente. En otro análisis posterior (Silagy y Neil, 1994) se vio que la ingestión de 800 mg de ajos/día reducía la concentración sanguínea de colesterol en un 12%. La validez de ambos estudios es limitada ya que no se controlaron la ingesta diaria de alimentos, el peso de los individuos, la ingestión de ajos, ni otros factores, como la dosis experimental. En otro estudio con muestreo al azar y control de placebo y de la dieta (Isaacsohn y col., 1998) se encontró que la ingestión de ajos durante 12 semanas no disminuía los niveles de colesterol de las personas hipercolesterolémicas.

Soja

Las semillas de *Glycine max* tienen una proteína de gran calidad nutritiva. Además constituyen la materia prima de muchos alimentos, frescos y fermentados, que si originalmente se consumían en los países del Lejano Oriente, cada día son más populares en los países industrializados de América y Europa. Se le han atribuido propiedades preventivas y curativas de la enfermedad isquémica coronaria, del cáncer y de la osteoporosis, habiéndose recomendado su empleo para mitigar los trastornos menopaúsicos.

Su empleo para rebajar el colesterol plasmático es uno de los mejor documentados fisiológicamente. Anderson y col., analizaron en 1995, 38 publicaciones distintas en las que 743 individuos que consumían soja y sus derivados mostraron disminuciones significativas del colesterol total (93,%) del LDL-colesterol (12,9%) y de los triglicéridos (10,5%), mientras que aumentó el HDL-colesterol (2,4%). Los análisis de regresión lineal de los resultados de estos estudios demostraron que había que ingerir 25 g de soja, o más, para que sus efectos en los lípidos sanguíneos fueran significativos. Se admite como agente responsable a las isoflavonas (Potter, 1998) pero se desconoce su mecanismo de acción. En mayo de 1998 la empresa *Protein Technologies International* (PTI) solicitó autorización de la FDA para hacer constar en el etiquetado de sus productos a base de soja que "disminuyen el riesgo de enfermedad isquémica coronaria". Basándose en una ingesta diaria de 25 gramos de proteína de soja, PTI propuso que la cantidad mínima de esta proteína que debía contener un producto alimenticio para calificarlo de hipocolesterolemizante era de 6,25 g, con un contenido mínimo de isoflavonas de 12,5 mg por ración consumida. En agosto del mismo año (1998) la FDA aprobó la petición de PTI.

En las semillas de soja se han identificado diversas sustancias anticancerosas, ente las que sobresalen (Messina y Barnes, 1991) las isoflavonas sobre todo, genisteína y daidzeína. Las isoflavonas se parecen estructuralmente a los estrógenos esteroideos y compiten con los estrógenos naturales, que son mucho más potentes, por los sitios de unión a los receptores. Esto explicaría porqué las poblaciones que ingieren mucha soja están menos expuestas a las neoplasias estrógeno depen-

dientes. Sin embargo, debe señalarse que los estudios epidemiológicos sobre ingesta de soja y riesgo de cáncer son inconsistentes y hasta la fecha no se han publicado ensayos clínicos que demuestren que la ingestión de soja disminuye el riesgo de esta enfermedad.

También se ha dicho que la soja podría favorecer la salud ósea. En la Universidad de Illinois se observó que el suministro diario a 66 mujeres menopáusicas durante 6 meses de 40 g de aislado de soja, que contenía 90 mg de isoflavonas, aumentó significativamente, tanto el contenido mineral de las vértebras lumbares, como su densidad ósea (Erdman y Potter, 1997).

La teoría de que la soja alivia los trastornos de la menopausia se basó en que las mujeres del SE asiático presentaban "subidas de calor" y sudoración nocturna significativamente menores que las mujeres occidentales. En 1998 Albertazzi y colaboradores comprobaron que el suministro diario, durante 3 meses, de 60 g de aislado proteico de soja disminuyó en el 45% de las mujeres menopáusicas las subidas de calor. De todos modos, es demasiado pronto para sugerir que la soja podría sustituir a la terapéutica hormonal para el tratamiento de los trastornos menopáusicos.

Brecolera y otras crucíferas

Ciertas evidencias epidemiológicas sugieren que el consumo frecuente de coles, brecolera y verduras similares disminuye el riesgo de padecer cáncer. Este efecto es máximo, al parecer, en las neoplasias de los tractos digestivo y respiratorio (WCRF, 1997).

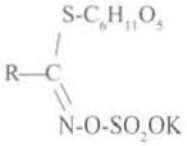
En una revisión reciente (Verhoeven y col., 1997) se apreció una relación inversa entre consumo de coles, brécol, coliflor y coles de Bruselas y riesgo de cáncer. Las propiedades anticancerosas de estas verduras se han atribuido a su alto contenido de glucosinolatos.

A este respecto conviene recordar que se sabe, desde hace bastantes años, que son muchos los tioglucósidos o glucosinolatos producidos por las hortalizas de la familia de las crucíferas (Tabla 5). Tanto los tioglucósidos, como sus derivados (nitrilos, isotiocianatos y tiocianatos) han

TABLA 5

*Principales glucosinolatos de las hortalizas**

Fórmula general:



Nombre corriente	Grupo característico de aglicona (R)	Hortalizas que lo contienen **
Glucoalisina	Metil-sulfinil-pentil-	Nabo (*Brassica napus* var. *napobrassica*), Colza (*B. napus* var. *oleifera*), rábano (*Raphanus sativus*)
Glucobrasicina	Indolil-metil-	Nabo, colinabo (*B. oleracea* var. *gongylodes*), col (*B. oleracea*), rábano.
Glucobrasicapina	Pentenil-	Nabo, rábano, colza
Glucocaparina	Metil-	Alcaparra (*Capparis fomentosa*)
Glucocleomina	Metil-hidroxi-butil-	Alcaparra
Glucoiberina	Metil-sulfinil-propil-	Col, alcaparra, rábano, nabo, colza
Gluconapina	Butenil-	Col, colza.
Gluconasturtina	Hidroxipentenil	Nabo, col, berro (*Rorippa nasturtium aquaticum*) rábano, colza
Glucorrafanina	Metil-sulfinil-butil	Col, rábamo
Glucotropeolina	Bencil-	Papaya (*Carica papaya*)
Progoitrina	Hidroxi-butenil-	Rábanos, col, nabo, colza
Sinalbina	Hidroxi-bencil-	Mostaza blanca (*Sinapis alba*), colza
Sinigrina	Alil-	Col, mostaza negra (*Sinapis nigra*) alcaparras

* Se han identificados unos 50

** Pueden encontrarse en hojas, tubérculos, bulbos y semillas, dependiendo de cada hortaliza.

sido muy estudiados por su capacidad tóxica y por sus propiedades antitiroideas, ya que consumidos como aparecen en las hortalizas y durante mucho tiempo, inhiben la fijación de yodo en la tiroxina, produciendo hipertiroidismo (bocio). Parte de los glucosinolatos ingerida con el forraje del ganado lechero se elimina por la leche contribuyendo así a la presentación del bocio humano.

Los glucosinalatos se almacenan en las vacuolas celulares de las plantas que los contienen. Algunos de sus derivados como los isotiocianatos, en especial el alilisotiocianato (AITC) y el feniletilisotiocianato (PEITC) son anticarcinogenéticos y anticancerosos. Ambas propiedades se deben a sus efectos en la expresión de las enzimas que intervienen en el metabolismo de los agentes cancerígenos y en la proteína quinasa, estrés activada, que induce a las células tumorales a comenzar la apoptosis.

Durante la preparación, cocinado, distribución y consumo de las hortalizas, la mirosinasa (β-tioglucósido glucohidrolasa) hidroliza los glucosinolatos, que también pueden degradarse por otras causas, En las hortalizas en su estado natural los glucosinolatos y la mirosinasa están separados compartimentalmente pero interactúan al traumatizarse los tejidos vegetales. La mirosinasa de la microbiota intestinal también contribuye a la hidrólisis *in vivo* de los glucosinolatos. Los dos compuestos de este tipo más llamativos son la sinigrina y la gluconasturtina (Figura 2), cuya hidrólisis por la mirosinasa rompe el enlace tioglucosídico rindiendo glucosa y una aglicona inestable (tiohidroximato-O-sulfonato), que sufre una redisposición espontánea dando alilisotiocianato y feniletil isotiocianato respectivamente. También se forman otros compuestos como nitrilos, tiocianatos e isotiocianatos. La formación de estos compuestos biotóxicos, como respuesta a los traumatismos de los tejidos vegetales, sugiere que se produce una activación *in situ* del sistema glucosinolato mirosinasa que actúa como plaguicida implicado en la autodefensa vegetal frente al ataque de insectos y otros depredadores naturales.

En condiciones fisiológicas al reaccionar los isotiocianatos rápida y reversiblemente con los grupos tiolcisteinilo producen derivados de stiocarbamoilcisteína y al hacerlo lentamente con los grupos amino, rinden tioureas. Una reacción competidora es la hidrólisis de los isotiocia-

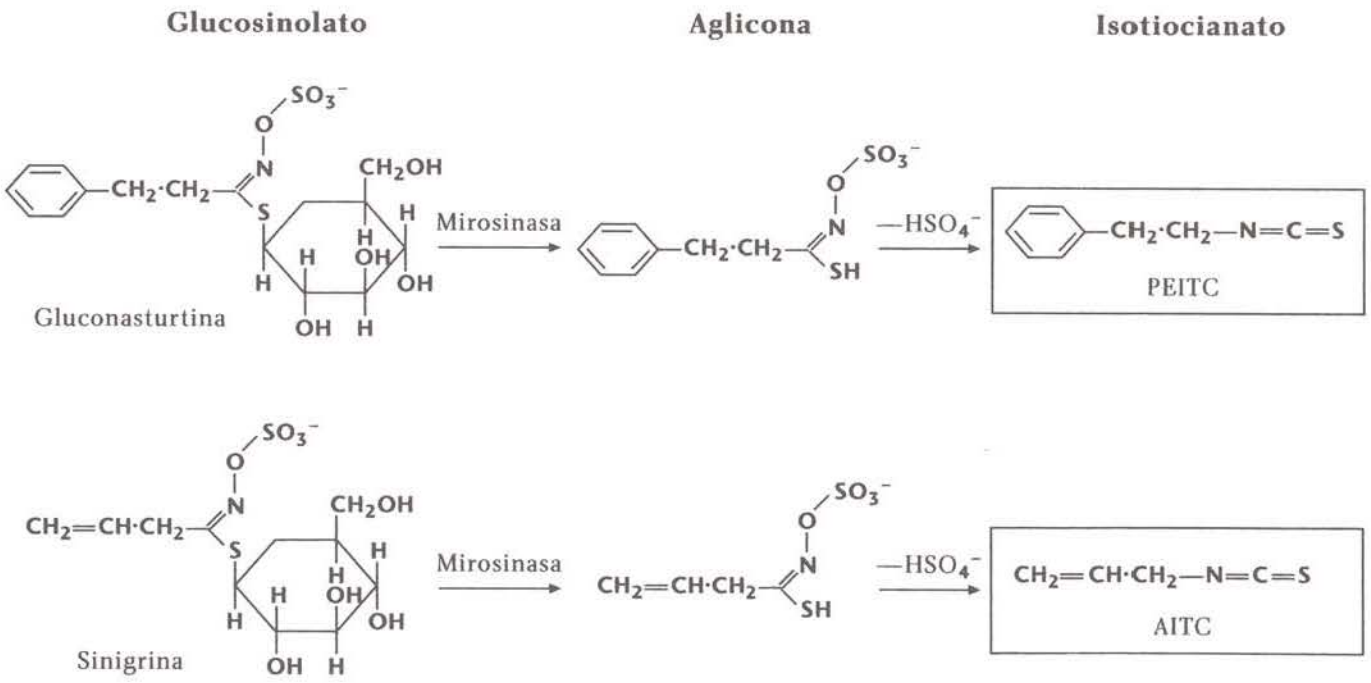


Figura 2. Formación de fenilisotiocianato (PEITC) y de alilisotiocianatao (AITC) a partir de los tioglucósidos de la dieta.

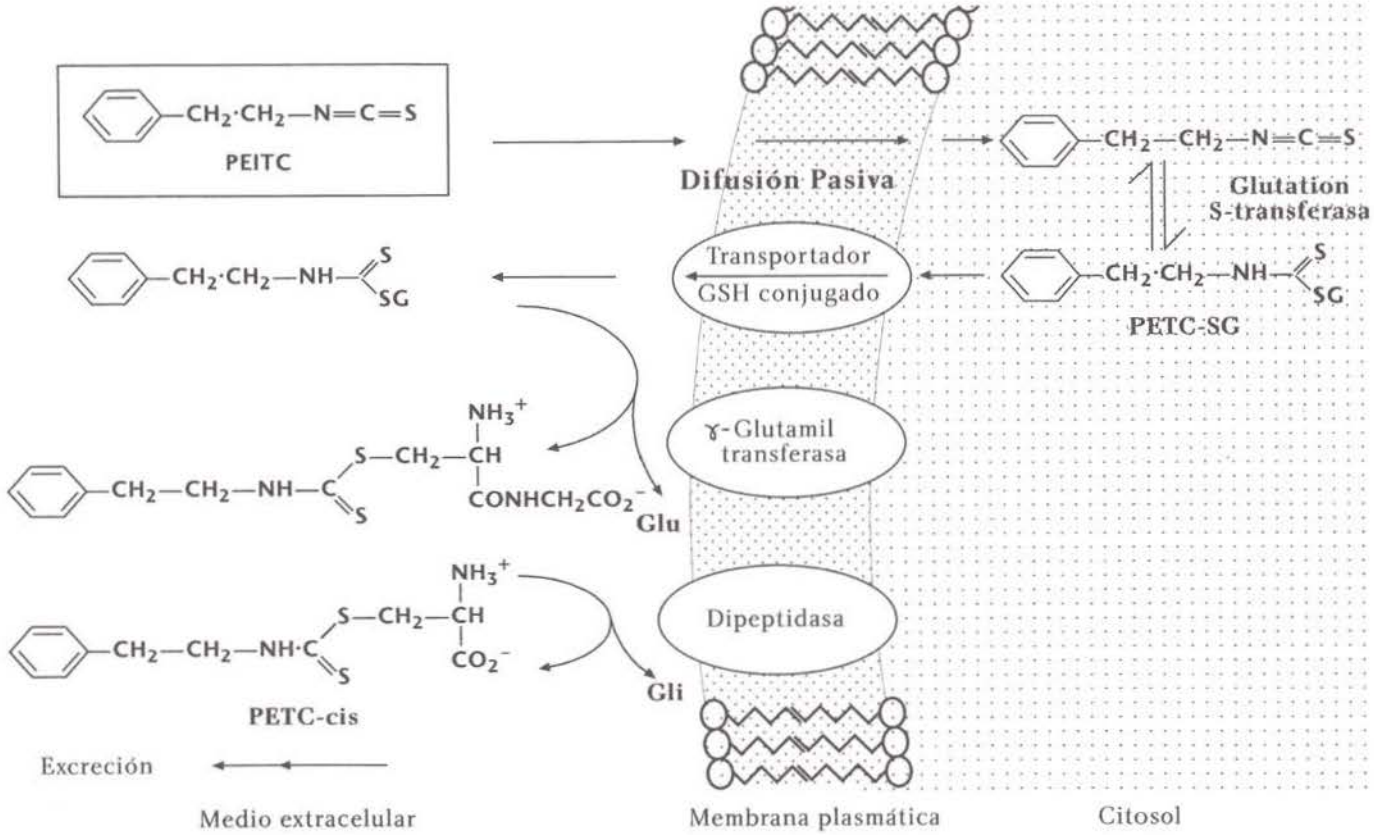


Figura 3. Esquema del metabolismo del PEITC. Obsérvese que todos los derivados cisteinil conjugados están en equilibrio con el PEITC y con los metabolitos cisteinilo libres y que el PEITC se hidroliza irreversiblemente a feniletilamina (que no figura en el esquema). G = Glutation; PETC-cis = S-(N-fenetiltiocarbamoil)-cisteína; PETC-SG = S-(N-fenetiltiocarbamoil)-glutation.

natos a los correspondientes monotiocarbamatos y su fragmentación a las aminas respectivas. En la figura 3 se muestran estas reacciones referidas al PEITC. Espontáneamente y también bajo la acción de las glutation-S-transferasas se forma el correspondiente aducto de glutation. Después el glutatión conjugado [S-(N-feniletiltiocarbamoil)glutation], puede salir de las células y metabolizarse a ácido mercaptúrico [Nα-acetil-S-(N'-femetil tiocarbamoil)cisteína], que se excreta por la orina. Tanto el PEITC, como su conjugado de cisteína han despertado recientemente mucho interés por sus acciones anticancerígenas y por su posible utilidad como quimiopreventivos del cáncer.

La actividad quimiopreventiva anticancerosa de los isotiocianatos de la dieta se ha atribuido a que disminuyen la activación de los carcinógenos y a que aumentan su conjugación facilitando así su eliminación con la orina. Se ha comprobado que los isotiocianatos y sus conjugados de cisteína inhiben a las isoenzimas citocrómicas P450, 1A1, 1A2, 2B1 y 2E1. También se ha visto que aumentan la actividad de las enzimas implicadas en la destoxificación y conjugación de los cancerígenos que deben eliminarse, esto es, de las glutation-S-transferasas, quinona reductasa, epóxido hidrolasa y UDP-glucuronosil transferasas (Zhang y Talalay, 1994). Además, otra actividad farmacológica de los isotiocianatos de la dieta y de sus derivados S-(N-tiocarbamoil) cisteína es su capacidad anticancerosa. La inhibición del crecimiento tumoral, durante el desarrollo preclínico del cáncer, es otro factor a tener en cuenta en la menor incidencia de cáncer que tiene lugar cuando se ingieren glucósidos con la dieta. Como señala el Prof. Thornalley (1999), tanto los isotiocianatos como sus conjugados inducen *in vitro* la apoptosis de las células neoplásicas, habiéndose comprobado que el PEITC, a una concentración media inhibitoria del crecimiento de 1,49 μM induce la apoptosis de las células leucémicas humanas HL 60. A los lectores interesados en la mutagenicidad, progresión tumoral y apoptosis les recomendamos la lectura de los trabajos de Cascales (1999).

La mirosinasa, además de isotiocianatos, produce también indoles. El indol-3-carbinol se está ensayando por sus propiedades quimiopreventivas frente al cáncer de mama. No sólo induce las reacciones de destoxificación de las fases I y II, sino que disminuye el riesgo de

cáncer al regular el metabolismo de los estrógenos (Wang y col., 1998). Las hidroxilaciones de los estrógenos, en los carbonos 16 y 2 implican una competición por las rutas dependientes de las citocromo P-450, cada una de las cuales comparte como sustrato un *pool* común de estrógenos. Ciertos estudios sugieren que el aumento de los estrógenos 2-hidroxilados (catecol) en lugar de los hidroxilados en posición 16, protegería contra el cáncer, dado que los primeros, esto es, los 2-hidroxilados actúan como antiestrogénicos en los cultivos celulares. Como contraste, la 16-hidroxiestrona es estrogénica y puede unirse a los receptores de estrógenos. En las mujeres el indol-3-carbinol, administrado a una dosis diaria de 500 mg (lo que equivale a 350-500 g de col/día) durante una semana aumenta significativamente la hidroxilación en posición 2 del estradiol, lo que sugiere que este compuesto quizá constituya una nueva forma de reducir el riesgo de cáncer de mama (Michnovicz y Bradlow, 1998); no obstante, los ensayos sobre destoxificación de la fase I continúan (Wong y col., 1998).

Si bien son muchos los isotiocianatos naturales y sintéticos que se ha demostrado que previenen el cáncer en los animales, se ha prestado una atención especial a un isotiocianato aislado de la brecolera, conocido como **sulforafano**. Esta sustancia se ha visto que es el inductor principal de un tipo de enzima singular de la fase II, concretamente de la quinona reductasa. Fahey y colaboradores demostraron en 1997 que las plántulas de brecolera de sólo tres días contenían de 10 a 100 veces más glucofaranina (el glucosinolato del sulforafano) que las correspondientes plantas maduras. De todas formas, en vista de la importancia de las pautas dietéticas globales en la disminución del riesgo de cáncer, las implicaciones clínicas de un solo fitoquímico aislado deben admitirse con bastantes reservas (Nestle, 1998).

Seguridad de los alimentos funcionales

Cada vez son más las publicaciones que demuestran que los alimentos funcionales contienen sustancias activas que podrían ser beneficiosas para la salud. Su seguridad, como la de cualquier compuesto que penetre en el organismo, debe estar fuera de toda sospecha; de aquí la necesidad

de establecer con todo detalle, en todas las personas y circunstancias, cuáles son las dosis o niveles óptimos de fitoquímicos en cada situación.

Asimismo y dada la tendencia creciente al consumo de alimentos funcionales fisiológicamente activos, deben analizarse y sopesarse cuidadosa y pormenorizadamente los beneficios y riesgos (si los hubiese) en individuos y poblaciones distintos. Por ejemplo, ¿frente a qué riesgos y en que condiciones debe recomendarse el aumento de la ingesta de productos que, como las isoflavonas, modulan el metabolismo de los estrógenos?. Piénsese, además, que las isoflavonas de la soja constituyen una espada de doble filo, ya que se ha visto recientemente que la genisteína promueve la tumorogénesis en los animales.

Estos alimentos no son, pues, soluciones mágicas, ni panaceas que vayan a terminar con los malos hábitos alimentarios. Téngase en cuenta que, en realidad, no hay alimentos malos y buenos, sino buenas y malas dietas, o mejor todavía, buenos y malos hábitos de vida.

Las asociaciones de médicos, bromatólogos y nutrólogos del mundo industrializado abogan por unas dietas variadas con abundantes productos vegetales, ricas en fibra alimentaria, bajas en grasas saturadas (< 10% del contenido graso total de la dieta) y con un consumo de 6-10 porciones o raciones de frutas y hortalizas al día. Pero como acabamos de señalar, la dieta es sólo un componente de lo que se ha llamado **estilo de vida** del que depende realmente la salud. Otros componentes importantes son el tabaquismos, la actividad física y el estrés.

Las posibilidades preventivo curativas de los alimentos funcionales están aún comenzando a conocerse científicamente y las alegaciones sobre sus beneficios se hacen, con frecuencia, muy a la ligera y sin tener en cuenta criterios científicos. Por ello deben continuar las investigaciones para establecer los posibles efectos beneficiosos de los alimentos de aquellas dietas cuyas relaciones con la salud no han sido validadas científicamente.

Las investigaciones realizadas con los alimentos funcionales no influirán en la salud pública a no ser que sus resultados beneficiosos se hagan llegar con claridad a los consumidores. Recientemente la Escuela de Salud Pública de Harvard (Boston, EEUU) y la Fundación del Con-

sejo Internacional de Información Alimentaria (Washington D.C.) han publicado una serie de guías destinadas a científicos, editores de revistas, periodistas, agrupaciones profesionales interesadas y a otras personas preocupadas por la salud que pretenden mejorar la comprensión popular de la ciencia emergente. En España son dignos de citarse los encuentros entre investigadores de la salud y periodistas, auspiciados por la Fundación BBV y el *Master* para periodistas científicos organizado por la Facultad de Ciencias de la Información de la UCM y la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales del Instituto de España. En ambos eventos he tenido la suerte de participar. Lo que se pretende con estas actividades es, entre otras cosas, asegurar que los resultados de las investigaciones en nutrición, tecnología de los alimentos, seguridad alimentaria y salud se den a conocer de forma clara, equilibrada y sin inducir a error.

V. NUTRAECÉUTICOS O FARMALIMENTOS

El nombre de nutracéutico lo empleó por primera vez en 1989 la Fundación para la Innovación en Medicina de los EEUU (*Foundation for Innovation in Medicine*), al definir a estos productos como "cualquier sustancia que una vez ingerida produce efectos beneficiosos en la salud, incluidas la prevención y el tratamiento de enfermedades". En esta definición caben, por tanto, una gran variedad de géneros alimenticios heterogéneos que tienen muy poco en común, por ejemplo, aislados proteicos, fibra dietética, fortificadores o enriquecedores alimenticios, extractos vegetales, fitoquímicos, alimentos para administrar parenteralmente y otros. Nada tiene de extraño que a medida que llegaban al comercio y dependiendo del fabricante recibieran otros nombres como farmalimentos, alimentos vitales, alimentos medicamentados, alimentos para usos especiales y hasta alimentos funcionales.

Seis años más tarde el Consejo Internacional de Información Alimentaria (*International Food Information Council*) de EEUU los redefinió como "alimentos que contienen niveles significativos de compuestos biológicamente activos que al consumirlos convenientemente producen efectos nutritivos beneficiosos". Esta definición es también muy poco concreta.

La Directiva 389/89/CEE sobre productos destinados a alimentación especial ha puesto un poco de orden al regular al menos, los alimentos para lactantes, los de control de peso, los deficientes en algún componente, etc., pero tampoco distingue nitidamente entre los distintos alimentos que se contemplan bajo los encabezamientos citados al principio.

Los nutracéuticos persiguen la prevención o curación de alguna enfermedad o alteración metabólica. Son los que llaman en Japón *Foshu* o "alimentos con aplicaciones sanitarias específicas".

Pszczola en un artículo que publicó en *Food Technology* (Oct., 1999), titulado *Nutraceuticals that take the form of candy and snacks* (Nutracéuticos con aspecto de dulces y tentempiés), señala que un tentempié es todo alimento que se toma entre las tres comidas principales y a veces, si se tiene prisa, en lugar de alguna de ellas. Hasta hace muy poco ni los dulces, ni los tentempiés se habían vendido como "productos beneficiosos para la salud", sino más bien todo lo contrario, como algo que se ingería en ocasiones en cantidades excesivas mientras se mataba el tiempo, de aquí que sus máquinas expendedoras automáticas se situasen inicialmente en estaciones de metro, de autobuses, etc. Posteriormente su consumo se popularizó en el cine, en los colegios entre clase y clase y hasta en casa mientras se contempla la TV. Pero para las madres eran una pesadilla, ya que sus hijos al consumir muchas de estas chucherías apenas comían, si es que lo hacían, las comidas preparadas en casa.

Esta situación está cambiando y en muchos países industrializados hay a la venta caramelos de goma, barritas de chocolate, galletas, bombones, y productos similares de cuyos ingredientes forman parte fitoquímicos, extractos de yerbas, minerales y vitaminas. Cada día hay más productos de esta clase que si en un principio se vendían en farmacias y parafarmacias hoy han llegado a todos los lugares de venta al por menor. En EEUU se han hecho grandes inversiones en I+D de estos nutracéuticos y en cualquier local comercial pueden comprarse libremente nutracéuticos que dicen que ayudan a mantener en buen estado la salud, a cuidar el corazón o los riñones, a mejorar y evitar la pérdida de memoria, el rendimiento físico, la salud ósea y en una palabra el buen funcionamiento corporal.

Veamos a continuación en la tabla 6 algunos ejemplos:

TABLA 6

*Algunos Nutracéuticos o Farmalimentos desarrollados en 1999**

Nombre del producto	*Empresa fabricante*	*Ingredientes fundamentales*	*Usos*
Heart-Bar	Cooke Pharma (California)	L-arginina.- Vits. C,E, B_6, B_{12}, niacina y folato	Enfermedades cardiocirculatorias
Brain-Gum	Lucas Meyer, Inc. (Illinois)	Fosfatidilserina	Prevención y cura de pérdida de memoria
Champex	Ricom (Japón, EEUU)	Extracto de setas	Favorece funciones hepática y renal e inhibe producción oxigeno activo y leucotrieno
Pastas para diabéticos	Watson Nutritional Ingredients (Connecticut)	Sin azúcar. Con 0,024 mg de Cr, 80 de Mg y 3 de Zn (20% de ingestas diarias recomendadas)	Como tentempiés o como parte de una comida rápida
Throat decongestant	Tom's of Maine	Extracto de valeriana, mentol	Descongestivo en gripe y catarros
Natural Tonic	Tom's of Maine	Extracto de equinácea y de té verde	Tonificante y estimulante del sistema inmune
Keeble Grahams y Snackin Grahams	Keeble (Illinois)	Calcio (10% de la ingesta recomendada por unidad)	Como galletas y bombones que aportan calcio
Viactiv	Mead Jonson (Indiana)	Calcio	Como chicle y caramelos de café con leche
Nutra Pops	Dependable Gift and Candy, Inc (California)	Artemisa; sabor a piña colada (*Happy*). Gingko biloba; sabor a café capuchino (*Smarty*). Piruvato y picolinato crómico; sabor a chocolate (*Skinny*). Kavakava y granadilla; sabor a crema de fresa (*Sex*)	Como "chupa chups" (solo se venden a los adultos).
Yummi Bears	Hero Nutr. Prods. (California)	1200 mg fibra de raíz de chicoria	Como pastillas de goma para aumentar fibra.

* Elaborada a partir de Pszczola, D.E., 1999. *Nutraceuticals that take the form of candy and snacks. Food Technology* 53: (10): 74-80.

1. *Heart-Bar*. Es un producto dulce, con forma de barra o chupón fabricado por *Cooke Pharma* en Belmont (California) desde 1999. Se puede comprar sin receta médica en todas las farmacias de EEUU. Su principio activo es la L-arginina que, en los animales de experimentación, mejora la salud arterial, aumenta la producción de óxido nítrico y favorece el flujo sanguíneo.

Además lleva también vitaminas C, E, B_6, B_{12}, niacina y folato en las cantidades recomendadas para pacientes con enfermedades cadiocirculatorias. Como alimento básico o fundamental lleva harina de soja que es también una buena fuente de fibra y fitoestrógenos. Por tratarse de un alimento medicado debe cumplir las condiciones impuestas por la FDA y consumirse bajo supervisión médica.

2. *Brain gum*. Se trata de chicle que lleva un suplemento de lecitina de soja que previene o mitiga el deterioro de la memoria que acompaña al envejecimiento. Contiene 40% de fosfatidilserina, sustancia importante en la neurotransmisión sináptica. Está pendiente de evaluación por la FDA.

3. *Champex*. Es un extracto de setas que anula los malos olores de aparato digestivo. Lo elabora la empresa japonesa Ricom y se incorpora a caramelos de goma y a chicles. Estudios japoneses recientes señalan que este extracto mejora las funciones renal y hepática, impidiendo que progrese el fallo renal (Pszczola, 1999). También inhibe la generación de oxígeno activo y de leucotrieno, sustancias ambas implicadas en ciertas patologías y en el envejecimiento.

4. *Keebler Grahams* y *Snackin Grahams*. Son dos versiones de galletas enriquecidas con calcio que aportan por unidad un 10% de la ingesta recomendada de este mineral. Desde agosto están a la venta en todos los supermercados de EEUU. Las fabrica la empresa Kleeber en Elmhurst (Illinois).

También Mead Jonson Nutritionals fabrica chicles de chocolate, bajo el nombre registrado de *Viactiv Soft Calcium Chews*, especialmente recomendados para que en niños y mujeres aumente la ingestión de calcio.

Hay otros muchos productos a la venta que, como los anteriores, llevan entres sus ingredientes diversos fitoquímicos y extractos vegetales,

como raíz de achicoria, tragacanto, uña de gato (*Ononis spinosa*) ginseng kavakava, grandadilla, etc. y minerales, vitaminas, cinc y antioxidantes. En la tabla 6 sólo se muestran algunos de los desarrollados en 1999.

VI. ALIMENTOS LIGEROS

Los alimentos y bebidas ligeros (*light* en inglés) han sido uno de los avances del último tercio del siglo XX de mayor éxito comercial; sus ventas y demanda siguen creciendo todavía. Inicialmente se trataba de productos alimenticios y bebidas de bajo contenido graso y azucarado, es decir, pobres en energía. En la actualidad bajo el calificativo de *light* se incluyen también productos a los que se ha privado, en todo o en parte, de alguno de sus componentes, por ejemplo, alcohol (cerveza sin alcohol), colesterol o cualquier otro.

Su elaboración ha sido en gran parte consecuencia de las recomendaciones nutritivas de prestigiosas agrupaciones científicas, como la Academia de Ciencias de EEUU, la Sociedad Americana de Cardiología, la Fundación Británica de Nutrición y otras instituciones de este tipo entre las que se incluyen las sociedades españolas de Nutrición, Cardiología, etc. Todas ellas han recomendado que se rebaje la energía total de la dieta de los países industrializados y que sólo el 30% de la misma proceda de la grasa. De este 30% máximo, el 7-10% corresponderá a las grasas saturadas, el 10-12% a las monoinsaturadas y el resto a las poliinsaturadas.

TABLA 7

Alimentos considerados Light

— Carentes de grasa
— Con menor contenido de grasa total
— Con menor contenido de grasa saturada
— Sin colesterol (o con menor contenido)
— Desprovistos de azúcar o con menor contenido
— Sin alcohol o con menor contenido

La mayoría de los consumidores hoy son conscientes del peligro que supone la ingestión habitual de dietas demasiado energéticas; así se deduce de una serie de encuestas, como por ejemplo la llevada a cabo por el Instituto de Mercado de los Alimentos de los EEUU (*U.S. Food Marketing Institute*), donde los encuestados manifestaron que su mayor preocupación nutritiva era el contenido graso de los alimentos (Tabla 8).

TABLA 8

*Aspectos nutritivos que más preocupan a los consumidores de EEUU**

Preocupación Principal	*Respuestas afirmativas (%)*
Contenido graso	27
Contenido de sal	26
Concentración de colesterol	22
Contenido de azúcar	20
Calorías (pocas)	14
Valor nutritivo	14
Aditivos químicos	12

* *Trends-consumer attitudes and the Supermarket*. Food Marketing Institute, 1998 (Modificada).

A los alimentos *light*, además de sustraerles parcialmente o totalmente alguno de sus nutrientes o componentes característicos, en ocasiones tal ingrediente se sustituye por uno de sus sucedáneos o agente de imitación cuyo contenido calórico es nulo o muy escaso. Así sucede, por ejemplo, al sustituir el azúcar por edulcorantes artificiales en la fabricación de productos de pastelería, o la grasa de la mayonesa y salsas similares por olestra (una grasa de imitación inabsorbible y por lo tanto, acalórica).

Las ventas de estos productos en España y en el resto de mundo han superado las expectativas más halagüeños. En la tabla 9 se indican las ventas en España de los alimentos *light*, más representativos.

TABLA 9

*Ventas de alimentos light en España (porcentaje respecto del total)**

Leche desnatada	14
Leche semidesnatada	7
Yogur desnatado	23
Cerveza sin alcohol	6
Bebidas refrescantes	4

* Datos referidos a España correspondientes a 1998.

En nuestro país y en la UE, salvo en el sector lácteo, no hay legislación específica para estos productos que regule cuanto concierne a su etiquetado. Por supuesto que la Norma general de etiquetado también es obligatoria para los productos *light*, pero no olvidemos que son un conglomerados de sustancias muy heterogéneas que debieran disponer de una reglamentación específica. En EEUU están intentando acabar con el caos que supone el etiquetado de una cantidad tan enorme de productos. A título de ejemplo señalamos las normas de etiquetado de los alimentos de distinto contenido graso (Tabla 10).

TABLA 10

Normas de etiquetado de alimentos con distinto contenido graso (FDA y USDA)

Denominación	*Contenido graso por ración o servicio corriente*
Libre de grasa (*Fat free*)	Menos de 0,5 gramos
Bajo en grasa (Low fat)	3 gramos
Con menos grasa o con grasa disminuida (*Reduced or less fat*)	25% menos que el alimento corriente
Light	Con un tercio menos de calorías o con 50% menos de grasa que el alimento corriente

* Según el *International Food Information Council Foundation*, 1996

VII. ALIMENTOS TRANSGÉNICOS

Se definen como los producidos por animales o plantas sometidos a técnicas de ingeniería genética. Bajo el punto de vista conceptual esto no es nuevo, dado que hace muchos años que el hombre ha modificado las plantas y los animales productores de alimentos utilizando la hibridación y la mutagénesis que, a fin de cuentas, es actuar sobre el genoma. La hibridación o cruce consiste en juntar dos genomas parenterales (formados por varios millares de genes) para que al repartirse o distribuirse por su descendencia se forme un solo genoma del que forman parte los genes de interés de cada parenteral. Sin embargo, la probabilidad de encontrar la combinación de genes buscada es muy baja; por ello con este proceder son mucho más los fracasos que los éxitos.

La mutagénesis consiste en tratar el genoma con un agente agresivo, llamado mutágeno, que lesiona o altera el gen o genes que interese. Hasta hace poco era casi imposible conseguir que la lesión o daño afectase única y exclusivamente al gen o genes que deseaba alterarse, de aquí que fuera muy alta la posibilidad de dañar otros genes. Por lo tanto, ambos procedimientos carecen de una dirección u orientación definida. Por el contrario las técnicas de manipulación genética del ADN, la llamada ingeniería genética permite separar uno o más genes de un organismo determinado (organismo donador) y transferirlos a otro individuo de la misma o distinta especie (organismo receptor) que expresará características o atributos propios del donador. Así se originan los organismos transgénicos o modificados genéticamente (OMG).

La aplicación de la técnica descrita ha permitido muchos avances en Biomedicina, Agricultura y Ciencia de los Alimentos, lo que, sin duda alguna influirá mucho en el desarrollo futuro de la población humana.

Se ha calculado que en EEUU hay más de 1700 empresas trabajando en I+D en Biotecnología genética y en Europa más de 700. La mayoría se dedican a la obtención de productos terapéuticos (Pret, 1999). En el sector agroalimentario seis son las compañías dominantes: Monsanto, Novartis, AgrEvo, Dupont, Astra Zeneca y Dow. En 1997 sus inversiones en desarrollo biotecnológico se aproximaron a los 8 millardos de dólares USA y Monsanto sola invirtió 730 millones.

El cultivo de plantas transgénicas o modificadas genéticamente (MG) ha crecido mucho en los últimos años (Lacadena, 2000). En 1994 todavía no había cultivos industriales en ningún lugar del mundo. Cuatro años más tarde ya se cultivaron 29 millones de Ha en EEUU, Canadá, Australia, Argentina y México. Sólo en EEUU las cosechas de plantas MG supusieron el 43% de la cosecha total de soja y el 20% de la de maíz. En China, en 1998, unos 650.000 labradores sembraron algodón transgénico y en 1999 se dedicaron a este cultivo casi un millón de Ha. En el 2000 se calcula que más del 75% del maíz producido en China procederá de cultivos transgénicos.

Los primeros productos alimenticios modificados genéticamente que se han elaborado han sido quesos fabricados con quimosina (cuajo) procedente de bacterias MG. En 1995 se cosecharon tomates carentes del gen responsable de la síntesis de poligalacturonasa, enzima responsable del ablandamiento, con lo que permanecieron, sin ablandarse, mucho tiempo en la mata o tomatera; ello les permitió desarrollar todo su sabor, aroma y color sin rastro de podredumbre. Hoy se comercializan en todo el mundo alrededor de una docena de alimentos transgénicos, si bien deben ser en torno a los 200 los pendientes de autorización para su venta. Algunos países mantienen ciertas reservas, otros (España entre ellos) disponen ya de cultivos modificados genéticamente. Con ellos se pretende: (1) aumentar la producción o rendimiento, (2) una mayor resistencia del cultivo a las plagas (insectos y malas yerbas), (3) asimismo mayor resistencia a los fitosanitarios (insecticidas, herbicidas, fungistáticos y otros) y (4) conseguir unos frutos con mejores características organolépticas y nutritivas.

Al iniciarse el cultivo industrial de cosechas transgénicas la opinión pública se dividió en dos grupos: 1) quienes piensan que son seguros e imprescindibles para el progreso mundial y 2) los que creen que no deberían permitirse por el peligro que suponen para la salud humana y para el medio o ambiente (en especial para la biodiversidad). Gran parte de la oposición europea a los cultivos transgénicos se debe a que los consideran innecesarios y a que, según Robinson (1999), las grandes multinacionales que realizan la mayor parte del trabajo en I+D en este campo sólo buscan beneficios, despreocupándose o prestando poca atención a la seguridad ambiental y sanitaria.

Sin duda alguna la obtención y utilización de alimentos transgénicos no está exenta de riesgos, como tampoco lo está la de alimentos tradicionales ya que el riesgo cero no existe en ninguna actividad humana. Hasta la fecha no se ha autorizado la venta de ningún alimento transgénico que no haya superado una serie de pruebas de laboratorio muy estrictas cuyos resultados permiten conocer con exactitud y detalle su composición químico nutritiva y su posible capacidad alergénica y toxigénica (véase Reglamente de la Comisión del Consejo de la UE del 27-01-1997).

Las mayores objeciones de los consumidores no se refieren tanto a los alimentos transgénicos como a los cultivos de donde proceden. La evaluación de los beneficios frente a los riesgos potenciales no es tan fácil como puede parecer ya que todavía se sabe poco de unos y otros (Pret, 1999) y a medida que pasa el tiempo y se dispone de más datos el problema se complica. Por ejemplo el maíz Bt (portador del gen que codifica la toxina de *Bacillus thurigiensis*) tiene, entre otras ventajas, la de no necesitar insecticidas durante su cultivo, lo que es bueno ambiental y sanitariamente, pero al retener la toxina de *B. thurigiensis* en sus tejidos podría aducirse un efecto letal directo en los insectos beneficiosos y en la bioecología del suelo (Altieri, 1998; Crecchio y Stotzky, 1998; Losey y col., 1999). Recientemente el *Institute of Food Technologists* (IFT) ha puesto de manifiesto que la población de mariposas del género *Monarca*, uno de los insectos más sensibles al maíz Bt, no sólo no ha disminuido en EEUU (IFT, 2000) sino que, por el contrario, en los últimos ocho años se ha crecido mucho. Son bastante más peligrosos a este respecto los insecticidas a base de cultivos de *B. thurigiensis* aplicados directamente a los cultivos que al caer al suelo y ser arrastrados por el agua pueden llegar a zonas, cultivadas o no, situadas más bajas.

Mientras en EEUU no se exige un etiquetado específico para los productos alimenticios procedentes de plantas y animales MG, en la UE está en vigor desde el 1 de septiembre de 1998, el Reglamento comunitario 1139/98 ordenando que se señalen en la etiqueta los ingredientes procedentes de soja y maíz transgénicos. Un reglamento posterior (Reglamente (CE) 49/2000 de la Comisión) señala que cuando la concentración de ingredientes de organismos MG no supere el 1% no es necesario hacerlo constar en la etiqueta. El gobierno japonés también ordena

que los géneros alimenticios que llevan ingredientes transgénicos lo hagan constar en su etiqueta (Ferrer Falcón, 1999).

Para evitar muchas de las suspicacias y malentendidos que todavía aducen determinados grupos de consumidores lo mejor sería, como dice Lucke (1999), que se celebrasen foros abiertos de científicos, de técnicos, de la Administración, de asociaciones de consumidores y empresas biotecnológicos en los que se tratasen abiertamente y con profundidad todos los problemas surgidos en torno a los alimentos transgénicos. Schifield (1999) ha señalado, con buen criterio, que las empresas alimentarias están deseosas de contar siempre con disposiciones legales claras, transparentes y armonizadas a nivel internacional, evitando al máximo las contradicciones debidas a legislaciones distintas, emanadas de países diferentes, que contribuyen a frenar el comercio internacional y a menudo a retrasar los avances y progresos innovadores.

Aunque son muchas las razones que justifican la utilización de productos transgénicos para mejorar el aporte alimenticio y aunque se ha demostrado que tales productos no son más peligrosos sanitariamente que los alimentos tradicionales, pienso que, hasta hace poco tiempo, los científicos no han sabido informar amplia y claramente a toda la población de las razones que justifican las técnicas biotecnológicas y la necesidad de estimular las investigaciones en este campo de aquí las reticencias de los consumidores mal informados.

VIII. ALIMENTOS CONSERVADOS CON PROCESOS COMBINADOS

Hace unos veinte años se vio que podía prolongarse la vida de almacén de los alimentos, sin afectar apenas a su frescura y palatabilidad, aplicándoles conjuntamente dos o más métodos de conservación. A esta metodología se le llamó *conservación de alimentos por procesos combinados*. Para ello se utilizan tratamientos tecnológicos poco agresivos o de poca intensidad, que, de usarse por separado, ninguno de ellos permitiría prolongar la vida útil de los alimentos, sin causarles daño. De aquí que los productos así tratados se conozcan como *alimentos mínimamente procesados*.

La utilización de los procesos combinados no es algo nuevo; de forma empírica y desde las primeras civilizaciones se han aprovechado los efectos conservantes de sus componentes; tal ocurre, por ejemplo con el ahumado y el escabechado cuyos efectos conservadores se deben, en el primer caso a las acciones del cloruro sódico y de los componentes del humo, de una parte y a la desecación que experimenta el producto ahumado de otra. En el escabechado el efecto conservante se debe a la sal, por un lado, y al ácido acético (vinagre) por otro. Pero los métodos o procesos combinados también se han empleado con otros fines como la preparación de momias en el Egipto de los Faraones (Chirife y col., 1991).

Posiblemente el mejor ejemplo de alimento tradicional mínimamente procesado por métodos combinados sea el magro de cerdo sometido a la acción conjunta de las sales del curado y de un tratamiento térmico pasteurizante, producto que se conoce en España como Jamón de York (Figura 4). Para que los microorganismos pudieran desarrollarse en este



Figura 4. Barreras que impiden la germinación de las esporas, el crecimiento vegetativo y la producción de toxina de *Cl. botulinun* en el jamón de York. Recuérdese que el magro crudo de cerdo puede estar contaminado accidentalmente con esporas de *Cl. botulinun*.

producto alimenticio habrían de superar los obstáculos que suponen no sólo las sales del curado, sino el pH, el tratamiento pasteurizante, el potencial redox del alimento, etc. El profesor Leistner (1992, 1995), del Instituto Federal de la carne de Kulmbach (Alemania) postuló lo que llamó *tecnología de obstáculos*, según la cual diversos factores fisicoquímicos que actuarían como vallas, barreras u obstáculos (en realidad factores inhibidores), y que individualmente son incapaces de inhibir a los microorganismos, aplicados en serie y sucesivamente evitan el desarrollo microbiano.

La conservación de alimentos por procesos combinados (CAPC) es de dos tipos: 1) la que ejerce un efecto conservador equivalente a la suma de los efectos conservantes individuales de sus componentes, caso del pescado salado y desecado y 2) la que tiene un efecto conservante mayor que esta suma, conservación sinergista. Este segundo tipo de CAPC es el que más interés ha despertado entre los tecnólogos de los alimentos. En la tabla 11 se indican algunos sistemas de CAPC utilizados en la elaboración de alimentos mínimamente procesados. Hoy sólo nos referiremos brevemente a unos pocos.

TABLA 11

Algunos sistemas de conservación de alimentos por procesos combinados utilizados en la elaboración de alimentos mínimamente procesados

I. Métodos tradicionales

1. Empleo de dos o más conservantes (escabeches y adobos)
2. Métodos físicos y conservantes (ahumados y cecinas)

II. Métodos nuevos

1. Atmósferas modificadas y refrigeración (carne y fruta)
2. Bacterias lácticas y refrigeración (leches fermentadas y embutidos)
3. Productos precocinados y congelados (1950)
4. Productos precocinados y refrigerados (1980)
5. Alimentos *sous vide*

TABLA 11 *(continuación)*

III.	**Métodos emergentes**
1.	Presiones hidrostáticas altas (zumos de frutas)
2.	Pulsos campos eléctricos alta intensidad
3.	Pulsos lumínicos
4.	Procesado óhmico
5.	Irradiación ionizante
6.	Irradiación UV
7.	Manotermosonicación.
8.	Campos magnéticos oscilatorios.

Para la conservación de alimentos en atmósferas modificadas (AM), carne por ejemplo, se envasan en bolsas de plástico impermeables al aire y se les insufla la AM elegida, de acuerdo con las necesidades de almacenamiento, cerrándolas herméticamente a continuación. De esta forma se reducen los cambios bioquímicos del alimento, se frena el desarrollo microbiano, se retrasan las reacciones enzimáticas, se evita el enranciamiento y se mantiene su color típico. El vacío se considera también como una AM.

Los gases utilizados son CO_2, O_2 y N_2. La concentración óptima de CO_2 para la conservación de la carne es la comprendida entre 20 y 30%, si bien algunos investigadores lo han empleado experimentalmente como gas único. El resto se compone de aire, O_2 o una mezcla de oxígeno y nitrógeno. La carne fresca se envasa generalmente con concentraciones altas (> 50%) de oxígeno con lo que la mioglobina se oxigena a oximioglobina dando a la carne su color rojizo-rosáceo típico. De no incorporar oxígeno a la AM la carne presentaría una coloración rojo púrpura debida a la mioglobina reducida. El nitrógeno carece de actividad bioquímica y antimicrobiana pero contribuye a evitar las mermas por exudación y la retracción de las bolsas que contienen concentraciones altas de CO_2 (> 80%); además retrasa el enranciamiento al desplazar al oxígeno.

IX. BACTERIAS LÁCTICAS

Nutritivamente hablando son importantes probióticos ya que facilitan la absorción de la lactosa y se piensa, aunque no se ha demostrado firmemente, que inhiben la flora patógena intestinal, equilibran la microbiota entérica autóctona, actúan como antimutágenos e inhiben ciertos tipos de cáncer, estimulando además el sistema inmune.

Las razones principales de su antagonismo microbiano son la tulización de los carbohidratos disponibles a costa de otras bacterias y la disminución del pH del sustrato en el que crecen. Además de ácido láctico producen otros ácidos y sustancias antagonistas microbianas como H_2O_2, diacetilo, acetaldehído, isómeros D de los aminoácidos y otros metabolitos de gran interés, como sustancias nitrogenadas no proteicas (SNNP) de bajo peso molecular y bacteriocinas. Entre las SNNP destaca la reuterina, producida por *Lactobacillus reuteri* que ha sido aislado del intestino humano y animal. Las bacteriocinas son un grupo heterogéneo de proteínas que sólo tienen en común su actividad antimicrobiana y su naturaleza proteica. La primera en conocerse fue la nisina, producida por *Lactococcus lactis* (antes *Streptococcus lactis*). Su espectro antimicrobiano se extiende a muchas bacterias Gram positivas, se elabora industrialmente y su empleo en los alimentos está autorizado en 45 países, incluidos EEUU, la UE y Japón. No tiene aplicación en la carne porque al pH de este alimento (6,5) es muy poco soluble y muy inestable.

X.- ALIMENTOS *SOUS VIDE*

Son productos alimenticios, envasados a vacío en bolsas de plástico *ad hoc*, cerradas herméticamente, sometidos a un tratamiento térmico suave y conservado en refrigeración hasta el momento de servirlos; entonces se calientan a la temperatura requerida.

Su elaboración ha sido posible gracias a la disponibilidad de bolsas a base de laminados de plástico resistentes al vacío y a las temperaturas de esterilización. El cocinado de estos alimentos, envasados como queda dicho, evita pérdidas de sus componentes aromáticos y su conservación en refrigeración, el sabor a "recalentado o sobrecalentado" que aparece

en los productos delicados como el pescado. El vacío evita la oxidación lipídica y por tanto los sabores rancios.

Si bien teóricamente algunos microorganismos patógenos psicrotolerantes podrían ocasionar problemas, las experiencias realizadas bajo el mecenazgo de la Organización Europea de Consumidores y los llevados a cabo por las autoridades sanitarias francesas han demostrado que unas buenas prácticas de fabricación y la aplicación del sistema HACCP son suficientes para evitar el desarrollo de cualquier bacteria patógena en los alimentos *sous vide*.

XI. SISTEMAS EMERGENTES

La mayor parte de los alimentos esterilizados lo han sido siguiendo el proceder de Appert que data de principios del siglo XIX. El calor utilizado en la esterilización comercial provoca cambios perjudiciales en el alimento, como ocurre con la leche esterilizada por el sistema tradicional que presenta, a menudo, sabor a "cocida o recalentada" y que se acompaña de pérdida de algunos nutrientes y aromas.

En cambio, en las tecnologías emergentes de conservación sin calor de los alimentos, los nutrientes esenciales, las vitaminas y los aromas no sufren daño alguno, o son mínimos. Entre estas tecnologías figuran las altas presiones (AP), los campos eléctricos pulsados de alta intensidad, los pulsos lumínicos intensos, los campos magnéticos oscilantes, la irradiación ionizante y los sistemas de obstáculos o barreras que se han estudiado más atrás.

No todas las técnicas emergentes citadas pueden utilizarse en la conservación de todos los alimentos; su utilización depende del tipo de alimento en cuestión. Así, las AP, los campos magnéticos oscilantes, los agentes conservante, los pulsos lumínicos y los "obstáculos" sirven lo mismo para conservar alimentos sólidos que líquidos. Los campos eléctricos pulsados de alta intensidad se aplican principalmente a los líquidos y la irradiación ionizante a los sólidos. Por otra parte para procesar alimentos preenvasados se emplean preferentemente la irradiación, los campos magnéticos oscilantes y los lumínicos.

Los estudios realizados hasta ahora con estos sistemas acalóricos son muy prometedores pero pasará cierto tiempo antes de utilizarlos a escala comercial. Todavía es poco lo que se sabe sobre los mecanismos implicados en la destrucción de microorganismos, esporas y enzimas. También se sabe poco de los posibles cambios y de la estabilidad de los nutrientes y de los compuestos responsables de los caracteres organolépticos durante el almacenamiento. A continuación y a título de ejemplo sólo nos referiremos a tres de estas tecnologías. Para más detalles deben consultarse las publicaciones de Tsong (1990), Blanchard y Blackman (1994), Gould (1995), Vega Mercado (1996), Farkas y col. (1997), Barbosa Canovas y col. (1998) y Thayer y Rajkoski (1999).

Presiones hidrostáticas altas

Se sabe desde finales del siglo XIX que las presiones altas (PA) disminuyen la carga microbiana original de los alimentos, contribuyendo así a prolongar su vida de almacén. Aunque el posible empleo de las AP para conservar alimentos se vislumbró ya en 1890, fueron Zo Bell y colaboradores quienes más profundizaron de acuerdo con Barbosa Canovas y col. (1998), en los años de 1950 a 1970 en el conocimiento del comportamiento microbiano frente a presiones próximas a las 1000 ats. Recientemente han sido los investigadores de la Universidad del Estado de Washington, en Pullman, EEUU quienes más a fondo han estudiado este problema.

Los microorganismos que crecen entre 1 y 500 ats se conocen como *euribáricos*, denominándose *barófobos* a los que sólo se multiplican por debajo de las 300 ats; *mesobáricos* son los que se desarrollan entre 300 y 400 ats; *barodúricos* son los que sobreviven sin multiplicarse a las 500 atmósferas, y por último *barófilos* con los que pueden multiplicarse a más de 500 ats.

Las AP inducen cambios morfológicos, bioquímicos y genéticos en los sistemas biológicos; así *E. Coli* , sometido a presiones próximas a las 500 ats, alcanza longitudes de hasta 100 mm, lo que contrasta con su tamaño corriente de 1-2 mm (Zo Bell y Cobet, 1962). Bajo presiones hiperbáricas se alteran las membranas bacterianas, engrosándose la pared

celular y separándose de la membrana citoplásmica subyacente. En el citoplasma se producen estructuras esponjosas, o reticulares al mismo tiempo que se pierden microsomas; por último se lentifica la multiplicación microbiana. Las bacterias más barosensibles son las que se encuentran en crecimiento logarítmico o exponencial y las más resistentes las que están en fase estacionaria o en fase de latencia. El pH influye mucho en la sensibilidad de los microorganismos a las AP, siendo bastante más sensibles a pH ácido que a pH neutro. Las bacterias Gram negativas son más sensibles a las AP que las Gram positivas (Hoover, 1993).

Las AP actúan instantánea y uniformemente en todas las partes del alimento y en consecuencia su tiempo de procesado no depende del tamaño, ni de la forma de los envases. Las AP pueden aplicarse tanto a temperatura ambiente, como en refrigeración y a calentamientos subletales (bacterianos) el aroma y sabor originales del alimento generalmente no se modifican, en cambio se inactivan las enzimas alterantes y mejoran las propiedades reológicas.

Los sistemas hiperbáricos son muy prometedores y en Japón ya se encuentran a la venta salsas de soja, aderezos de ensaladas, yogures y zumos de frutas conservados por esta técnica acalórica.

Campos eléctricos pulsados de alta intensidad

Los campos eléctricos pulsados de alta intensidad (CEPAI) aplicados a los alimentos en forma de pulsos de muy corta duración (microsegundos a milisegundos) destruyen la carga microbiana vegetativa y algunas enzimas, pero para inactivar las esporas debe combinarse este tratamiento con la acción del calor y de la lisozima (Qin, 1996). Además tampoco estimulan la germinación esporular.

El mecanismo íntimo de la inactivación microbiana por los CEPAI ha sido estudiado, entre otros, por Tsong (1990) y Barbosa Canovas y col. (1998) pero todavía no se conoce con suficiente detalle. Si se sabe que la inactivación depende de varios factores, entre los que sobresalen la intensidad del campo, la duración del tratamiento, la temperatura del alimento y por supuesto, el tipo de microorganismo. En general, y para

el mismo microorgansmo, la destrucción microbiana aumenta al hacerlo estos factores. Las bacterias Gram positivas y las levaduras son más resistentes que las Gram negativas. Los CEPAI también inactivan en parte algunas enzimas.

Los campos eléctricos se aplican en forma de pulsos de una duración de 2-20 microsegundos (ms). El intervalo entre pulsos es de un segundo corrientemente, lo que, en comparación con la duración de los pulsos, es bastante grande, pero se hace así para evitar el aumento de la temperatura del alimento.

Experimentalmente se han procesado diversos alimentos líquidos, como zumos de manzanas y de naranja, huevos, leche y sopa de guisantes (30-40 KV/cm), habiéndose comprobado un aumento de su vida útil (10 días en los zumos de frutas tratados, frente a los 4 de los zumos frescos) y ningún cambio en sus propiedades físico-químicas y nutritivas. Tampoco cambian sus atributos organolépticos.

Campos magnéticos oscilantes (CMO)

Recordemos que se conoce como campo magnético a la zona o región cuyas partículas magnetizan un electroimán. Desde que para inactivar los microorganismos de los alimentos Hofmann (1985) patentó un sistema de CMO, se ha pensado en su empleo para mejorar la calidad y aumentar la vida útil de los alimentos.

Para que un alimento pueda conservarse aplicándole CMO debe poseer una resistividad eléctrica elevada (> 25 ohmios/cm). Son muchos los alimentos que cumplen esta condición. La intensidad del campo magnético a utilizar depende de la resistividad y del espesor del alimento; los que poseen resistividades más bajas y espesores mayores requieren los campos magnéticos más potentes (altos). La conservación de los alimentos con esta técnica requiere su envasado y cierre en bolsas de plástico, no en botes metálicos, y un tratamiento con 1-100 pulsos en un CMO de una frecuencia de 5-500 KHz y una temperatura de 0-50° c, con un tiempo total de exposición de 25μs a 10 ms. El tiempo de exposición es igual al número de pulsos multiplicado por la duración de cada pulso (10 oscilaciones).

Aunque la temperatura de los alimentos procesados sube unos 2-5º C, no se aprecia cambio alguno en su calidad ni en los caracteres organolépticos.

El empleo de los CMO es seguro, ya que los de máxima intensidad sólo se producen en la bobina del electroimán y en sus proximidades. A una distancia muy pequeña de la bobina la intensidad del campo baja muchísimo. Todavía se desconocen los mecanismos íntimos responsables de la inhibición microbiana por los campos magnéticos pero, nunca supera los 2 ciclos logarítmicos del recuento microbiano original. Por tanto, se necesitan más investigaciones antes del empleo industrial de este método emergente de conservación de alimentos.

XII. BIBLIOGRAFÍA

(1) ALBERT, C.M.; HENNERKENS, C.H.; O'DONNELL, C.J.; AJAN, U.A.; CAREY, V.J.; VILLETT, W.C.; RUSKIN, J.N. Y MANSON, J.E. (1998): Fish consumption and risk of sudden cardiac death *J. Am. Med. Assoc.*, 279:23-28.

(2) ALBERTAZZI, P.; PANSINI, F.; BONACCORSI, G.; ZANOTTI, L.; FORINI, E. Y D ALOYSIO, D. (1998): The effect of dietary soy supplementation on hot flushes *Obstet. Gynecol.* 91: 6-11.

(3) ALTIERI, M. (1998): The environmental risks of transgenic crops: An agroecological assessment. Department of Environmental Science, Policy and Management, University of California, Berkeley, Cal., EE.UU.

(4) AMERICAN DIETETIC ASSOCIATION (1995): Position of the American Dietetic Assotiation; Phytochemicals and functional foods. *J. Am. Diet. Assoc.*, 95: 493-496.

(5) ANDERSON, J.W.; JOHNSTONE, B.M. Y COOK-NEWELL, M.E. (1995): Meta-analysis of the effects of soy protein intake on serum lipids. *New Engl. J. Med.* 333: 276-282.

(6) ASCHERIO, A.; RIMM, E.B.; STAMFER, M.J.; GIOVANNUCCI, E.L. Y WILLETT, W.C. (1995): Dietary intake of marine n-3 fatty acids, fish intake, and the risk of coronary disease among men. *New Eng. J. Med.* 332: 977-982.

(7) ATKINSON, W.T. (1970): U.S. Patent nº 3488770 (Citado por Lawrie, 1998).

(8) AVORN, J.; MONANE, M.; GURWITZ, J.M.; GLYNN, R.J.; CHOODMOVSKY, I. Y LIPSITZ, L.A. (1994): Reduction of bacteriuria and pyuria after ingestion of cranberry juice – A Reply. *J. Am. Med. Assoc.* 272: 589-590.

(9) BANG, H.O. Y DYERBER, J. (1972): Plasma lipids and lipoproteins in Greenland west-coast Eskimos. *Acta Med. Scand.* 192: 85-94.

(10) BARBOSA-CÁNOVAS, G.V.; POTHAKAMURY, U.R.; PALOU, E. Y SWANSON, B.G. (1998): Nonthermal Preservation of Foods. Marcel Dekker, Inc., Nueva York.
(11) BLANCHARD, J.P. Y BLACKMAN, C.F. (1994): Clarification and application of an ion parametric resonance model for magnetic field interactions with biological systems. *Bioelectromagnetics* 15: 217-238.
(12) BLATHERWITK, N.R. (1914): Citado por Hasler, 1998.
(13) BOYER, R.A. (1954): US Pat. Nº 2.560.621.
(14) CASCALES ANGOSTO, Mª (1999): Estrés oxidativo. Envejecimiento y Enfermedad. Instituto de España. Madrid.
(15) CHIRIFE, L.; FAVETTO, G.; BALLESTEROS, S. Y KITIC, D. (1991): Mummification in ancient Egypt; an old example of tissue preservation by hurdle technology. *Lebensmittel-Wiss u. Technol.* 24: 9-11.
(16) CLINTON, S.K. (1998): Lycopene: Chemistry, biology and implications for human health and disease. *Nutr. Rev.* 56: 35-51.
(17) CRECCHIO, C.; STOTZKY, G. (1988): Insecticidal activity and biodegradation of the toxin from *Bacillus thurigiensis* subsp. *Kurstaki* bound to humic acids from soil. *Soil Biol. Biochem.* 30: 463-470.
(18) DASHWOOD, R.H. (1998): Indol-3-carbinol-anticarcinogen or tumor promoter in *Brassica* vegetables. *Chem. Biol. Interactions* 110: 1-5.
(19) DAVIGLUS, M.L.; STAMLER, J.; ORENCIA, A.J.; DYER, A.R.; LIN, K.; GREENLAND, P.; WALSH, M.; MORRIS, D. Y SHEKELLE, R.B.(1997): Fish consumption and the 30-year risk of fatal myocardial infarction. *New Eng. J. Med.* 336: 1046-1053.
(20) DAY, A.P.; KEMP, H.J.; BOLTON, C.; HARTOG, M. Y STANSBIE, D. (1998): Effects of concentrated red grape juice consumption on serum antioxidant capacity and low-density lypoprotein oxidation. *Ann. Nutr. Metab.* 41: 353-357.
(21) DHSS (DEPARTMENT OF HEALTH AND SOCIAL SECURITY): (1980): Foods which simulate meat. *Rept. Hlth. Soc. Security, nº 17, H.M.S.O.* Londres.
(22) DORANT, E.; VAN DEN BRANDT, P.A.; GOLDBOHM, R.A.; HERMUS, R.J.J. Y STURMANS, F. (1993): Garlic and its significance for the prevention of cancer in humans: A critical review. *Br. J. Cancer* 67: 424-429.
(23) DREOSTI, I.E.; WARGOVICH, M.J. Y YANG, C.S. (1997): Inhibition of carcinogenesis by tea: The evidence from experimental studies. *Crit. Rev. Food. Sci. Nutr.* 37: 761-770.
(24) ELEGBEDE, J.A.; MALZMAN, T.H.; ELSON, C.E. Y GOULD, M.N. (1993): Effects of anticarcinogetic monoterpenes on phase II hepatic metabolizing enzymes. *Carcinogenesis* 14: 1221-1223.
(25) ERDMAN, J.W. Y POTTER, S.M. (1997): Spy and bone health. *The soy connection* 5: 1-4.
(26) ERNST, E. (1997): Can allium vegetables prevent cancer?. *Phytomed.* 4: 79-83.
(27) FARKAS, J.; SARAY, T.; MOHAXSI, C.F.; HORTI, K. Y ANDRASSY, E. (1997): Effects of low-dose gamma radiation on shelf-life and microbiological safety of precut/prepared vegetables. *Adv. Food Sci.* 19:111-119.

(28) FAHEY, J.W.; ZHANG, Y. Y TALALAY, P. (1997): Broccoli sprouts: An exceptionally rich source of inducers of enzymes that protect against chemical carcinogens. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 94: 10366-10372.

(29) FERRER FALCÓN, L. (1999): La controversia sobre los productos alimentarios elaborados con organismos genéticamente modificados. *Cárnica 2000* 9: 14-17.

(30) FULLER, R. (1994): History and development of probiotics. En Probiotics (Ed. R. Fuller), págs. 1-8. Chapman and Hall, New York.

(31) GIOVANNUCCI, E.; ASCHERIO, A.; RIMM, E.B.; STAMPFER, M.J.; COLDITZ, G.A. Y WILLETT, W.C. (1995): Intake of carotenoids and retinoids in relation to risk of prostate cancer. *J. Natl. Cancer Inst.* 87: 1767-1776.

(32) GOULD, G.W. (ED.) (1995): New Methods of Food Preservation. Blackie Academic and Professional. Nueva York.

(33) HASLER, C.M. (1998): Functional foods: Their role in disease prevention and health promotion. *Food Technol.* 52: 63-70.

(34) HIRAYAMA, K. Y RAFTER, J. (1999): The role of lactic acid bacteria in colon cancer prevention: Mechanistic considerations. *Antonie van Leeuwenhoek* 76: 391-394.

(35) HOFMANN, G.A. (1985): Deactivation of microorganisms by an oscillating magnetic field. U.S. Patent 4.524.079.

(36) HOOVER, D.G. (1993): Pressure effects on biological systems. *Food Technol.* 47: 150-155.

(37) IFT (2000): Genetically Modified Organisms (GMOs). *Food Technol.* 54: 42-46.

(38) IOM/NAS (1994): Opportinities in the nutrition and the Food Sciences. (Thomas P.R. y Earl, R., eds.) Institute of Medicine / National Academy of Sciences. National Academy Press. Washington, D.C. (EE.UU.).

(39) ISAACSOHN, J.L.; MOSER, M.; STEIN, E.D.; DUDLEY, K.; DABEY, J.A.; LISKOV, E. Y BLACK, H.R. (1988): Garlic pouder and plasma lipids and lipoproteins: A multicenter, randomised, placebo-controlled trial. *Arch. Int. Med.* 158: 1189-1194.

(40) KINOSIAN, B.P. Y EISENBERG, J.M. (1998): Cutting into cholesterol; cost-effective alternatives for treating hypercholesterolemia. *J. Am. Med. Assoc.* 259: 2249-2261.

(41) KOHLMEIER, L.; KARK, J.D.; GÓMEZ GRACIA, E.; MARTÍN, B.C.; RINGSTAD, J.; THAMN, M.; MASAEV, V.; RIEMERSMA, R.; MARTÍN MORENO, J.M.; HUTTUNEN, J.K. Y KOK, F.J. (1997): Lycopene and myocondrial infarction risk in the EURAMIC study. *Am. J. Epidemiol.* 146: 618-626.

(42) KRUMHOUT, D.; BOSSCHIETER, E.B. Y DE LEZENNE COULANDER, C. (1995): The inverse relation between fish consumption and 20-year mortality from coronaty heart disease. *New Eng. J. Med.* 312: 1205-1209.

(43) LACADENA CALERO (2000): Alimentos transgénicos. Verdades y Mentiras. En Alimentos y Salud. Monografía VI de la Real Academia de Farmacia.

(44) LAWRIE, R.A. (1998): Meat Science. 6th Ed., Woodhead Publishing Ltd., Abington, Cambridge, England.

(45) LEISTNER, L. (1992): Food preservation by combined methods. *Food Res. Int.* 25: 151-158.

(46) LEISTNEER, L. (1995): Principles and applications of hurdle technology. En Gould, G.W. (ed.): New Methods of food preservartion. Blackie, Londres.

(47) LI, Y.; ELIE, M.; BLANER, W.S.; BRANDT-RAUF, P. Y FORD, J. (1997): Lycopene, smoking and lung cancer. *Proc. Am. Assoc. Cancer Res.* 38: 113 (Extracto 758).

(48) LOCKE, A. (1999): A non-scientist's view of the BBSRC exhibition on genetically modified crops. *The Biochemist* 21: 38-39.

(49) LOSEY, J.E.; RAYOR, L.S. Y CARTER, M.E. (1999): Transgenic pollen harms monarch larvae. *Nature* 399: 214-218.

(50) MESSINA, M. Y BARNES, S. (1991): The role of soy products in reducing risk of cancer. *J. Natl. Cancer Inst.* 83: 541-546.

(51) MICHNOVICZ, J.J. Y BRADLOW, H.L. (1991): Altered strogen metabolism and excretion in humans following consumption of indole carbinol. *Nitr. Cancer* 16: 59-66.

(52) NAKACHI, K.; SUEMASU, K.; SUGA, K.; TAKEO, T.; IMAI, K Y HAGSHI, Y. (1998): Influence of drinking green tea on breast cancer malignity among Japanese patients. *Jap. J. Cancer Res.* 89: 254-261.

(53) NATIONAL RESEARCH COUNCIL. COMMITTEE ON DIET AND HEALTH. FOOD AND NUTRITION BOARD. COMMISSION ON LIFE SCIENCES (1989. Diet and Health: Implications for Reducing Chronic Disease Risk. National Academy Press. Washington (EE.UU.).

(54) NESTLE, M. (1998): Broccoli sprouts in cancer prevention. *Nutr. Rev.* 56: 127-130.

(55) OBISESAN, T.O.; HIRSCH, R.; KOSOKO, O.; CARLSON, L. Y PARROTT, M. (1998): Wine consumption is associated with decreased odds of developing age-related macular degeneration in NHANES-1. *J. Am. Geriatrics Soc.* 46: 1-7.

(56) OFEK, I.; GOLDHAR, J.; ZAFRIRI, D.; LIS, H.; ADAR, R. Y SHARON, N. (1991): Anti *Escherichia coli* adhesión activity of cranberry juices. *New Engl. J. Med.* 324: 1599-1605.

(57) POTTER, S.M. (1998): Soy protein and cardiovascular disease. The impact of bioactive components in soy. *Nutr. Rev.* 56: 231-235.

(58) PRETTY, J. (1999): Genetic modification of crops: partner or pariah for sustainable development?. *The Biochemist* 21: 15-21.

(59) PSZCZOLA, R. (1999): Nutraceuticals that take the form of candy and snacks. *Food Technol.* 53: 74-80.

(60) QIN, B.; PTHAKAMUY, U.R.; BARBOSA CÁNOVAS, G.V. Y SWANSON, B.G. (1996): Nonthermal pasteurisation of liquid food using high intensity pulsed electric fields. *Crit. Rev. Food Sci. Nutrition* 36: 603-627.

(61) REUTER, H.D.; KOCH, H.P. Y LAWSON, L.D. (1996): Therapeutic effects and applications of garlic and its preparations. En The Science and Therapeutic Application of *Allium sativum* L. and related spices. 2ª ed. (ed. Koch, H.P. y Lawson, L.D.): Williams and Wilkins, Baltomore, EE.UU.

(62) RIPPLE, G.H.; GOULD, M.N.; STEWART, J.A.; TUTSCH, K.D.; ARZOOMANIAN, R.Z.; ALBERTI, DL; FEIERABEND, C.; POMPLUN, M.; WILDING, G. Y BAILEY, H.H. (1998). Pharse in clinical trial of perryllyl alcohol administered daily. *Clin. Cancer Res.* 4: 1159-1164.

(63) ROBINSON, C. (1999): Will GM Technology benefit the developing world? *The Biochemist* 21: 23-27.

(64) SANDERS, M.E. (1999): Probiotics. *Food Technol.* 53: 67-77.

(65) SCHOFIELD, G. (1999): Genetically modified foods and safety: A new regulatory paradigm. *The Biochemist* 21: 34-37.

(66) SIMOPOULUS, A.P. (1991): Omega-3 fatty acids in health and disease and in growth and development. *Am. J. Clin. Nutr.* 54: 438-463.

(67) STEINMETZ, K.A. Y POTTER, J.D. (1991): Vegetables, fruit and cancer. II Mechanisms. *Cancer Causes Control* 2: 427-442.

(68) STEINMETZ, K.A.; KUSHI, H.; BOSTICK, R.M.; FOLSOM, A.R. Y POTTER, J.D. (1994): Vegetables, fruit and colon cancer in the Iowa Women's Health Study. *Am. J. Epidemiol.* 139: 1-15.

(69) ST. LEGER, A.S.; COCHRANE, A.J. Y MOORE, F. (1979): Factors associated with cardiac mortality in developed countries with particular reference to the consumption of wine. *Lancet* 1017-1020.

(70) THAYER, D.W. Y RAJKOWSKI, K.T. (1999): Developments in irradiation of fresh fruits and vegetables. *Food Technol.* 53: 62-65.

(71) THORNALLEY, P. (1999): More good things in vegetables than you ever imagined. *The Biochemist* June 1999, págs. 10-23.

(72) TSONG, T.Y. (1990): Review: On electroporation of cell membranes and some related phenomena. *Bioelectrochem. Bioenergetics* 24: 271-295.

(73) U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES (1988): The surgeon General's Report on Nutrition and Health. Public Health Service. DHHS (PHS Publication nº 8850210.

(74) VEGA MERCADO, H. (1996): Inactivation of plasmin using high voltage pulsed electric fields. Ph. D. thesis. Washington State University, Pullman.

(75) VERHOEVEN, D.T.H.; VERHAGEN, H.; GOLDBOHM, R.A.; VAN DEN BRANDT, P.A. Y VAN POPPEL, G. (1997): A review of mechanisms underlying anticarcinogenicity by *Brassica* vegetables. *Chem. Bio. Interactions* 103: 79-129.

(76) WARSHAFSKY, S.; KAMER, R.S. Y SIVAK, S.L. (1993): Effect of garlic on total serum cholesterol. A meta-analysis. *Ann. Int. Med.* 119: 596-605.

(77) WCRF. WORLD CANCER RESEARCH FUND/AMERICAN INSTITUTE FOR CANCER RESEARCH (1997): En Food Nutrition and the Prevention of Cancer: a global perspective. Págs. 436-449. American Institute for Cancer Research. Washington, EE.UU.

(78) WEISBURGE, J.H. (ed.): (1998): International Symposium on lycopene and tomato products in disease prevention. *Proc. Soc. Exp. Bio. Med.* 218: 93-143.

(79) WONG, G.Y.C.; BRADLOW, L.; SEPKOVIC, D.; MEHL, S.; MAILMAN, J. Y OSBORNE, M.P. (1998): Dose-ranging study of indole-3-carbinol for breast cancer prevention. *J. Cell. Biochem.* 22 (Suppl. 28-29): 111-116.

(80) WRICK, K.L. (1994): The potential role of functional foods in Medicine and Public Health. En Functional foods (ed. Goldberg, J.): Chapman and Hall, New York.

(81) YANG, C.S. Y WANG, Z-Y. (1993): Tea and cancer. *J. Natl. Cancer Inst.* 85: 1038-1049.

(82) YOU, W.-C., BLOT, W.J.; CHANG, Y-S., ERSHOW, A.G.; YANG, Z-T.; AN Q.; HENDERSON, B.; XU, G-W.; FRAUMENI, J.F. Y WANG, T-G. (1988): Diet and high risk of stomach cancer in Shandong China. *Cancer Res.* 48:3518-3523.

(83) ZO BELL, C.E. Y COBET, A.B. (1962): Growth reproduction, and death rates of *Escherichia coli* at increased hydrostatic pressures. *J. Bacteriol.* 84: 1228-1236.

V. Previsiones para el uso de fitosanitarios

MARIA DEL CARMEN FRANCÉS CAUSAPÉ

Académica de Número

I. INTRODUCCIÓN

La Constitución de la Comunidad Europea tuvo en principio la finalidad de una organización europea de mercado. El Tratado de Amsterdam, firmado el 2 de octubre de 1997, señala en su artículo 33 (antiguo artículo 39 del Tratado de Roma) como uno de los objetivos de la política agraria común (PAC)(1): "incrementar la productividad agrícola, fomentando el progreso técnico, asegurando el desarrollo racional de la producción agrícola, así como el empleo óptimo de los factores de producción" (2).

La importancia económica de la agricultura es extraordinaria, no olvidemos que los cultivos son necesarios para la obtención de alimentos para el hombre y los animales así como de plantas medicinales y plantas ornamentales.

Según el Informe especial del Tribunal de Cuentas de la Comunidad Europea existían en 1997 aproximadamente 7 millones de explotaciones agrícolas (Tabla 1) de las que 6,8 millones pertenecían a propietarios privados. Más del 55% de éstos tenía una edad superior a 55 años, sólo el 7,6% era menor de 35 años y el 28,4% superaba los 65 años. En la Tabla 2 queda expuesto en tanto por ciento el total de empleo en el sector agrícola en proporción al total de la población en edad laboral (15-64 años). España queda en sexto lugar tras Grecia, Portugal, Irlanda, Austria y Finlandia (3).

La utilización de productos fitosanitarios constituye uno de los medios más importantes para incrementar la productividad agrícola.

España, país hortofrutícola por excelencia, tiene una agricultura más intensiva en las cuatro Comunidades Autónomas mediterráneas: Anda-

Tabla 1

Número de agricultores de la Unión Europea por grupo de edad

	Número total de explotaciones	*Propietario(s) Persona(s) Física(s)*	*Número de explotaciones prtenecientes a agricultores particulares*				
			Edad < 35 años	*35 a 44 años*	*45 a 54 años*	*55 a 64 años*	*65 años o más*
	1	2	3	4	5	6	7
Media de 1997	6.989.130	6.868.720	521.810	1.085.650	1.495.350	1.815.480	1.950.420
Media de 1995	7.370.040	7.269.230	570.740	1.106.900	1.575.090	1.994.540	2.021.950

	(3:2)	(4:2)	(5:2)	(6:2)	(7:2)
Proporción en 1997	7,60%	15,81%	21,77%	26,43%	28,40%
Proporción en 1995	7,85%	15,23%	21,67%	27,44%	27,82%

Fuente: Datos Eurrostat New Cronos (1999)

Tabla 2

Total de empleo en el sector agrícola en proporción al total de la población en edad laboral (15-64 años) (en %)

Estado miembro	*Agricultura 1985*	*Agricultura 1997*
Bélgica	1,7	1,3
Dinamarca	5,1	3,0
Alemania	2,9	2,1
Grecia	18,1	11,4
España	8,1	4,1
Francia	4,7	2,7
Irlanda	8,3	6,0
Italia	6,0	3,5
Países Bajos	2,8	2,6
Austria	6,1	4,8
Portugal	13,8	9,0
Finlandia	8,6	4,5
Suecia	3,9	2,0
Reino Unido	1,6	1,3
Total EU-14	**5,0**	**3,1**

Fuente: Informe de 1998 sobre tasas de empleo, Comisión (DG XXII)

lucía, Valencia, Cataluña y Murcia por lo que son las más necesitadas para la aplicación de productos fitosanitarios. En la Tabla 3 se aprecia el tanto por ciento del uso de productos fitosanitarios en la geografía española entre los años setenta y ochenta.

TABLA 3

Consumo por Comunidades Autónomas (%)

	1971-75	*1976-79*	*1988*
Andalucía	24	21,98	29,58
Comunidad Valenciana	30	24,47	20,22
Murcia		5,45	6,94
Cataluña	15	15,02	11,36
Baleares		1,17	0,85
Extremadura	5	4,06	4,09
Castilla-León	4	6,42	6,26
Castilla-La Mancha	5	4,23	3,82
Madrid		1,41	0,93
Canarias	5	3,83	4,14
Galicia	4	2,92	2,46
Aragón		4,48	4,62
La Rioja	7	1,68	2,25
Navarra		1,66	1,44
País Vasco		0,69	0,75
Asturias	1	0,26	0,18
Cantabria		0,25	0,11

FUENTE: Dávila Zurita, M. M.ª y Buendia Moya, J.

De la importancia de los productos fitosanitarios nos dá idea su consumo mundial en 1988 en los diferentes países expresado en millones de dólares (Tabla 4) y el porcentaje de ventas a nivel mundial por grupo de productos (Tabla 5). Entre las empresas fabricantes de productos fitosanitarios podrían establecerse tres grupos importantes: las de Estados Unidos, Japón y Europa occidental, que puede asegurarse que controlan el mercado mundial. No obstante, la mayor parte de las grandes compañías que comercializan productos fitosanitarios también co-

mercializan productos farmacéuticos, químicos, pinturas, plásticos, etc... En la Tabla 6 quedan reflejadas las ventas mundiales de productos fitosanitarios, expresadas en millones de dólares, realizadas por las empresas más importantes en 1988. Se aprecia que mientras en unas empresas solo se comercializan productos fitosanitarios sin embargo en otras la comercialización de estos productos representa un porcentaje muy pequeño.

Tabla 4

Consumo mundial en 1988

Paises	*Millones de dólares*
USA	4.900
Japón	3.500
Francia	2.100
Unión Soviética	1.150
Alemania Occidental	910
Italia	900
Inglaterra	800
Brasil	850
Subtotal	15.100-74%
Canadá	575
India	550
China	550
España	520
Australia	410
Hungría	350
Corea del Sur	320
Subtotal	18.385-89%
Resto del mundo	2.065
Mundo	20.450

Fuente: Dávila Zurita, M. M.ª y Buendía Moya, J.

En España el incremento del consumo en pesetas corrientes desde 1963 a 1988 se ha realizado a una velocidad extraordinaria según se aprecia en la Tabla 7 (4).

TABLA 5

Consumo mundial de productos fitosanitarios (%)
1988

Área	*Herbicidas*	*Insecticidas*	*Fungicidas*	*Otros*	*Total*
América del Norte	34	17	9	29	24
Europa occidental	26	17	46	35	27
Extremo Oriente	14	37	30	17	23
Europa Oriental	10	10	6	6	9
Resto del mundo	16	19	9	13	17
Total	100	100	100	100	100

FUENTE: Dávila Zurita, M. M.ª y Buendía Moya, J.

TABLA 6

Ventas mundiales por empresas en 1988
(Millones de dólares)

Empresas	*Ventas totales*	*Fitosanitarios*			*% fitosanitarios sobre ventas totales*
		Propios	*Total*	*% propios sobre total*	
Ciba-Geigy	12.422	1.540	2.050	75	16,5
Bayer	23.658	1.695	2.020	84	8,5
ICI	20.967	1.495	1.800	83	8,6
Rhône-Pounlec	10.566	1.300	1.625	80	15,4
Du Pont	30.468	1.040	1.195	87	3,9
Monsanto	7.639	1.130	1.178	96	15,4
Shell	90.063	575	1.050	55	1,2
Basf	25.629	825	1.020	81	4,0
Hoechst	23.539	715	930	77	4,0
Dow	13.377	735	819	90	6,1
Schering	2.994	485	756	64	25,3
Sandoz	7.076	460	646	71	9,1
Cyanamid	4.166	540	585	92	14,0
Kumiai	468	300	440	68	94,0
Eli Lilly	3.644	370	408	92	11,2
Sankyo	3.306	144	360	40	10,9
FMC	3.139	340	350	97	11,2
Nihon Nohyaku	383	135	345	39	90,1
Hokko	359	34	324	10	90,3
Rhom and Haas	2.203	265	302	88	13,7
Takeda	4.415	72	298	94	6,7
Sumimoto	4.262	230	245	94	5,7

FUENTE: Dávila Zurita, M. M.ª y Buendía Moya, J.

Tabla 7

Serie histórica de consumo en España
(Millones de pesetas)

	Valor de mercado a precios comerciales
1963	2.096
1964	2.264
1965	2.170
1966	2.769
1967	2.976
1968	3.029
1969	3.480
1970	3.642
1971	4.151
1972	4.708
1973	5.614
1974	6.095
1975	6.660
1876	7.465
1977	9.225
1978	11.810
1979	14.535
1980	18.415
1981	20.763
1982	23.120
1983	31.080
1984	38.050
1985	45.030
1986	46.100
1987	50.500
1988	59.250

Fuente: Dávila Zurita, M. M.ª y Buendía Moya, J.

Datos más recientes, concretamente del año 1994, nos muestran el grado de utilización de productos fitosanitarios en Europa (Tabla 8) que en España es muy bajo en comparación con otros países mientras que es muy alto en Holanda, Bélgica, Alemania y Francia. Los datos referentes a las diferentes zonas agrícolas en España en ese mismo año nos confirman que es en la zona mediterránea donde más se consumen productos fitosanitarios (Tabla 9) (5).

TABLA 8

Utilización de productos fitosanitarios en Europa
Año 1994

Pais	*Tierras cultivadas* 10^3 *Ha*	*Venta de productos fitosanitarios*	
		Millones de ECUS	*ECU/Ha*
Francia	19.234	1.535	80
Alemania	7.492	733	98
Italia	11.975	675	56
Reino Unido	6.600	538	81
España	20.089	436	22
Holanda	911	217	238
Grecia	3.912	157	40
Dinamarca	2.558	107	42
Bélgica	737	119	161
Portugal	3.173	94	30
Irlanda	933	47	50

FUENTE: García Baudin, J. M.ª

TABLA 9

Utilización de productos fitosanitarios en España
Año 1994

Zonas	*Superficie agrícola útil (% total)*	*Venta de productos fitosanitarios (% total)*	*ECU/Ha*
España interior (1)	58,2	21,9	8
España mediterránea (2)	14,0	45,2	71
España sur (3)	19,6	19,1	21
España norte (4)	3,5	5,5	35
Galicia	2,8	2,7	21
Baleares	1,3	0,8	14
Canarias	0,6	4,7	169

(1) Aragón, Castilla-León, Castilla-La Mancha, Extremadura y Madrid
(2) Cataluña, C. Valenciana, Murcia y Almería.
(3) Andalucía, excepto Almería.
(4) Asturias, Cantabria, País Vasco, La Rioja y Navarra.

FUENTE: García Baudin, J. M.ª

Las ventas de plaguicidas y fitosanitarios en España mantienen desde el año 1995 un crecimiento anual del orden del 6%, aunque funguicidas y herbicidas llegaron al 7,5%.

En el mercado europeo de estos productos, España está situada en cuarto lugar con unas ventas de 100.000 millones de pesetas en 1998 y de 96.000 millones de pesetas en 1999 (Figura 1).



Figura 1. FUENTE: Jiménez Gómez S. Conferencia sobre "Investigación, Desarrollo e Innovación en la Industria Química".

II. MARCO LEGAL EN LA COMUNIDAD EUROPEA PARA LA COMERCIALIZACIÓN DE PRODUCTOS FITOSANITARIOS

Los productos fitosanitarios no sólo tienen repercusiones favorables sobre la producción agrícola sino que su utilización puede entrañar riesgos para el hombre, los animales y el medio ambiente. Es a partir de los años sesenta cuando se difunde el riesgo de la utilización de productos fitosanitarios y su importancia llegándose a comprobar que los daños pueden ser de tal envergadura que no ha de tolerarse el uso total o parcial de estos productos.

Desde la finalización de la Segunda Guerra Mundial hasta nuestros días las demandas de la sociedad en los países más desarrollados han experimentado una gran evolución. Si antes era necesario una agricul-

tura productiva para satisfacer las necesidades alimenticias de la población, hoy cubiertas estas necesidades, la sociedad europea se decanta por una agricultura en que el efecto de la tecnología aplicada a los cultivos sea inocua para la salud humana y respetuosa con el medio ambiente. Si a ello le sumamos la libre circulación de mercancías entre los Estados miembros de la Comunidad Europea y la importancia del Acuerdo de Schengen de 14 de junio de 1985 (firmado en 19 de junio de 1990, al que España se adhirió en 25 de junio de 1991 y ratificado en 23 de julio de 1993); que comportó en su artículo 121 la libre circulación de vegetales y productos vegetales ligada a la construcción de un espacio fitosanitario común (6) sin necesidad de efectuar controles fitosanitarios aduaneros por la seguridad de la utilización de aquéllos al cumplirse las exigencias fitosanitarias establecidas.

En el seno de la Comunidad Económica Europea se creó en 1976 el Comité Fitosanitario Permanente compuesto por representantes de los Estados miembros y presidido por un representante de la Comisión. El Comité ejerce sus funciones en el terreno fitosanitario pero puede estudiar cualquier cuestión de relevancia dentro del campo legal fitosanitario a iniciativa del propio Comité, de su Presidente o de uno de los Estados miembros. El Comité hace propuestas a la Comisión sobre las medidas a tomar (7). Con la creación de este Comité se favoreció la cooperación de los Estados miembros en el campo de los productos fitosanitarios.

En 1978 se creó un Comité Científico de Pesticidas como un órgano consultivo cuyas funciones son evacuar informes sobre:

a) Los problemas científicos y técnicos relativos a la utilización y comercialización de pesticidas así como a sus residuos.

b) La eficacia de los pesticidas

c) La inocuidad de los pesticidas para los vegetales, el hombre, los animales y el medio ambiente

d) Otros problemas en relación con los pesticidas.

El Comité está compuesto de 15 miembros como máximo que son nombrados por la Comisión entre personalidades científicas altamente

cualificadas. El Comité elige entre sus miembros al Presidente y para llevar a cabo sus tareas puede crear grupos de trabajo que se reúnen por convocatoria de un representante de la Comisión y es éste además quien puede invitar a personalidades competentes en materias particulares concernientes a los pesticidas a participar en estas reuniones.

En sus deliberaciones, el Comité puede formular un informe por acuerdo unánime y sino dará cuenta de las distintas posturas adoptadas por sus miembros. En todo caso, los informes tienen carácter confidencial (8).

Resultado inmediato de sus trabajos fue la prohibición en 1979 de puesta en el mercado y la utilización de productos fitosanitarios conteniendo ciertas sustancias activas que correspondían a compuestos mercúricos y compuestos órgano-clorados persistentes y en todo caso las condiciones para su utilización (9). Se estableció entonces una Lista negativa de sustancias activas que se fue modificando en años sucesivos.

La Comunidad Económica Europea intentó crear un Registro único de productos fitosanitarios pero no fue posible y únicamente consiguió un consenso entre los Estados miembros para armonizar la legislación y establecer el reconocimiento mutuo de las autorizaciones concedidas para la comercialización de productos fitosanitarios.

Para garantizar la libre circulación de productos fitosanitarios, protegiendo al mismo tiempo la salud de los animales y de los consumidores, la Comisión, previa consulta a los Estados miembros en el marco del Comité Fitosanitario Permanente, ha adoptado Directivas no sólo para la comercialización de productos fitosanitarios sino también para establecer Programas coordinados de controles anuales sobre los productos fitosanitarios utilizados.

En la actualidad la Directiva 91/414/ CEE de 15 de julio de 1991 (10) prevé que la Comunidad Europea adoptará las medidas que crea oportunas, previa consulta al Comité Fitosanitario Permanente y, habida cuenta de los conocimientos científicos y técnicos del momento; para la comercialización de productos fitosanitarios. Asímismo contempla el reconocimiento mutuo de las autorizaciones concedidas en los Estados

miembros siempre que se justifiquen los elementos de comparabilidad en la medida en que las condiciones agrícolas, fitosanitarias y medioambientales, incluídas las climáticas; sean comparables en cuanto afecten a la utilización del producto.

El Anexo I de la Directiva, es una Lista positiva única que se destina a incluir las sustancias activas cuya incorporación a los productos fitosanitarios está autorizada siempre que cumplan las siguientes condiciones:

1) Que su utilización no tenga efectos nocivos para la salud humana o animal ni repercusiones inaceptables para el medio ambiente.

2) Que los residuos resultantes de su aplicación no tengan efectos nocivos para la salud humana o animal ni para las aguas subterráneas, ni repercusiones inaceptables para el medio ambiente y en todo caso que sus efectos tóxicos o medioambientales puedan medirse por métodos generalmente aceptados.

Los Anexos II y III incorporan los requisitos de la documentación que debe presentarse para solicitar respectivamente bien la inclusión de una sustancia activa en el Anexo I o bien para solicitar la autorización de un producto fitosanitario.

Los Anexos IV, V y VI son destinados respectivamente a frases normalizadas referentes a riesgos especiales, a frases normalizadas de medidas de seguridad y a principios uniformes para la evaluación y autorización de productos fitosanitarios.

Esta Directiva ha sufrido modificaciones posteriores por otras Directivas de las cuales por su relevancia citaremos la Directiva 97/57/CE de 22 de septiembre de 1997 (11) por la cual se desarrollan los principios uniformes para la evaluación de productos fitosanitarios, siempre que se trate de preparados químicos y que tienen como objetivo garantizar un elevado nivel de protección del medio ambiente y de la salud humana y animal.

Quedan por establecer los principios uniformes para los productos que contengan microorganismos.

La Comunidad Europea estableció, mediante el Reglamento (CEE) nº 3600/92 de la Comisión, de 11 de diciembre de 1992, un programa

de trabajo para la revisión de las sustancias activas ya comercializadas tras la Directiva 91/414 CEE, programa que exige la colaboración de los Estados miembros para la evaluación científica y técnica que sirva de base a las decisiones legislativas adoptadas a escala comunitaria relativa a la comercialización de productos fitosanitarios.

Dicho Reglamento se modificó por otro, (CE) nº 1972/1999 de la Comisión, que contempla normas para la revisión, considerada prioritaria, de noventa sustancias activas comercializadas dos años después de la Directiva 91/414/CEE; por otro Reglamento (CE) nº 451/2000 de la Comisión, de 28 de febrero de 2000, por el que se establecen las disposiciones de aplicación de la segunda y tercera fases del programa de trabajo y últimamente por Reglamento (CE) nº 2266/2000 de la Comisión (DOCE L 259, 13-10-2000, pág. 27 y s.s.) se toman medidas para la inclusión o no de sustancias activas en el Anexo I y en este último caso para que los Estados miembros retiren, como muy tarde el 25 de julio de 2003, las autorizaciones de los productos fitosanitarios que contengan sustancias activas excluidas en el Anexo I.

III. MARCO LEGAL PARA LA COMERCIALIZACIÓN DE PRODUCTOS FITOSANITARIOS EN ESPAÑA

En España desde principios del siglo XX hubo una gran preocupación por resolver los daños que causaban plagas como la filoxera y la langosta en la producción agrícola. La primera normativa de que se tiene noticia es la Ley de 21 de mayo de 1908 (4) de «Defensa contra las plagas del campo y protección de los animales útiles a la agricultura» que estaba destinada a la extinción de plagas y en la que se establecían premios para quienes descubrieran remedios contra las plagas y se creaba una infraestructura administrativa que sería la base de la Subdirección General de Sanidad Vegetal de la Dirección General de Agricultura (12) y de la Subdirección General de Medios de Producción Agrícolas (Real Decreto 1282/2000, de 30 de junio, B.O.E., nº 157, 1-7-2000, págs. 23613 y s.s.).

Hay que tener en cuenta que España atravesaba en los inicios del siglo XX una gran crisis económica y el hecho de haberse formado un

mercado mundial de productos agrícolas incrementó esa circunstancia. El Estado participó desde entoncés de modo progresivo en el control de los riesgos agrícolas y aplicó políticas preventivas para evitar que el problema de las plagas adquiriera proporciones desorbitadas contribuyendo a la organización de la vida económica del país de forma racional y adoptando unas normas que harían de nuestro país un adelantado en la lucha contra las plagas del campo (13).

Por Real Decreto de 19 de septiembre de 1942 se creó el Registro Oficial Central de Productos y Material Fitosanitario en la Sección de Fitopatología y Plagas del Campo de la Dirección General de Agricultura del entonces Ministerio de Agricultura (14) correspondiendo a los Farmacéuticos Titulares la inspección y análisis de los productos fitosanitarios cuando su utilización pudiera repercutir en la sanidad e higiene pública, según el Artículo 39 del Reglamento de Personal de los Servicios Sanitarios Locales (15); más tarde, por Orden de 18 de junio de 1985 se dieron competencias compartidas en materia de productos fitosanitarios, para determinar los límites máximos de residuos para cada ingrediente activo, sus metabolitos o productos de degradación en alimentos, tanto al Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación como al Ministerio de Sanidad y Consumo y se creó la Comisión Conjunta de Residuos de Productos Fitosanitarios (16).

El Código Alimentario Español, aprobado por Decreto 2484 de 21 de septiembre de 1967 incluye los productos fitosanitarios, considerándolos como productos químicos, así como recomendaciones para la manipulación de aquellos que sean tóxicos (17).

La Constitución Española de 1978 establece en su artículo 51 que «los poderes públicos garantizarán la defensa de los consumidores y usuarios protegiendo, mediante procedimientos eficaces, la seguridad, la salud y los legítimos intereses económicos de los mismos (18). Con la Ley General para la Defensa de los Consumidores y Usuarios se dá cumplimiento al mandato constitucional al disponer en su artículo segundo, entre los derechos básicos del consumidor «La protección contra los riesgos que puedan afectar su salud o seguridad» y en el artículo cuarto alude a los plaguicidas que lleven en su composición sustancias tóxicas por lo que han de ir envasados con las debidas garantías y llevar

de forma visible las oportunas indicaciones que adviertan el riesgo de su manipulación (19).

La Reglamentación Técnico-Sanitaria para la fabricación, comercialización y utilización de plaguicidas, aprobada por Real Decreto 3349/ 83, de 30 de noviembre de 1983; definía en el artículo segundo los Plaguicidas de uso fitosanitario o productos fitosanitarios, considerados como productos naturales, productos químicos, inorgánicos u orgánicos, y productos biológicos; como los destinados a su utilización en el ámbito de la sanidad vegetal, así como aquellos otros de análoga naturaleza destinados a combatir malezas u otros organismos indeseables (20); establece los plazos de seguridad, condiciones de utilización para que no sean superados los límites máximos de residuos así como las atribuciones de los Ministerios de Agricultura, Pesca y Alimentación y de Sanidad y Consumo. Con respecto a este último los registros específicos y controles relativos a los aspectos sanitarios de productos de uso agrícola competen a la Subdirección General de Sanidad Ambiental de la Dirección de General de Salud Pública (21). En la actualidad se denomina Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral de la Dirección General de Salud Pública y Consumo (Real Decreto 1450/2000, de 28 de julio. B.O.E. nº 181, 29-7-2000, pág. 27309 y s.s.).

En otro plano distinto, España fue uno de los primeros países en promulgar en 1989 una Ley para la Conservación de los espacios Naturales y de la Flora y Fauna Silvestres que establece un régimen jurídico para proteger los recursos naturales creando el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas (4) y la Ley General de Sanidad de 1986, en su artículo ocho, considera una actividad básica del sistema sanitario el desarrollo de las técnicas necesarias para evitar los riesgos en el hombre debidos a la vida animal (22).

Por otra parte, la adhesión de España a la Comunidad Europea, a partir de 1 de enero de 1986, ha requerido que se haya armonizado la reglamentación española a la comunitaria en 1993 llegándose a implantar por Real Decreto 2163/ 1994, de 4 de noviembre, y Orden de 28 de marzo de 1996 del Ministerio de la Presidencia para comercializar y utilizar productos fitosanitarios y con ello se puede alcanzar uno de los fines del Tratado de Amsterdam, que entró en vigor el 1 de mayo de

1997, comprendido en el artículo 152 relativo a la adopción de medidas en los ámbitos veterinario y fitosanitario que tengan como objetivo directo la protección de la salud pública evitando así las fuentes de peligro para la salud humana (2).

III.1. Definición y Clasificación de los Productos Fitosanitarios

Ya hemos comentado la definición de producto fitosanitario dada en la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la fabricación, comercialización y utilización de plaguicidas de 1983 que comprende, por tanto, los productos comerciales preparados con ingredientes activos de origen natural, químico o biológico.

El Real Decreto de 4 de noviembre de 1994 (23) define los Productos Fitosanitarios como las Sustancias activas y preparados que contengan una ó más sustancias activas destinados a:

1) Proteger los vegetales o los productos vegetales contra todos los organismos nocivos
2) Influir en el proceso vital de los vegetales de forma distinta de como lo hacen las sustancias nutrientes
3) Mejorar la conservación de los productos vegetales
4) Destruir los vegetales indeseables
5) Destruir partes vegetales o controlar o evitar un crecimiento inadecuado de los mismos.

Asimismo define los Residuos de productos fitosanitarios, ya que estos pueden implicar riesgos sanitarios, como una o varias sustancias que se encuentren en los vegetales o productos de origen vegetal, productos comestibles de origen animal, o componentes del medio ambiente, que constituyan los restos de utilización de un producto fitosanitario, incluidos sus metabolitos y los productos resultantes de su degradación o reacción.

Según la función de los productos fitosanitarios se clasifican, según la Orden de 20 de noviembre de 1995 (24) en :

Acaricida, Bactericida, Funguicida, Herbicida, Insecticida, Molusquicida, Nematicida, Fitoregulador, Repelente, Rodenticida, Semioquímico, Topicida, Viricida y Otras (Avicida, etc...)

Los productos fitosanitarios son tóxicos en mayor o menor grado y pueden afectar negativamente a la salud humana. Atendiendo a su toxicidad para las personas los plaguicidas se clasifican en cuatro categorías:

1) De baja toxicidad : Los que por inhalación, ingestión y /o penetración cutánea no entrañan riesgos apreciables (BT).
2) Nocivos: Los que entrañan riesgos de gravedad limitada (Xn).
3) Tóxicos: Los que entrañan riesgos graves, agudos ó crónicos e incluso la muerte (T).
4) Muy tóxicos: Los que entrañan riesgos extremadamente graves, agudos o crónicos e incluso la muerte (T+).

Atendiendo a la peligrosidad que puede entrañar su manipulación por los efectos que pueden provocar se clasifican en:

1) Corrosivos: Los que en contacto con tejidos vivos pueden ejercer sobre ellos una acción destructiva (C).
2) Irritantes: Los no corrosivos que, por contacto directo, prolongado o repetido con la piel o las mucosas, pueden provocar una reacción inflamatoria (Xi).
3) Fácilmente inflamables: Los que sin aporte o con aporte de energía pueden inflamarse y Extremadamente inflamables (T) y (T+).
4) Explosivos: Los que pueden explosionar bajo el efecto de una llama, un choque o una fricción (E).
5) Comburente: Los que en contacto con otros (inflamables) originan una reacción fuertemente exotérmica (O).

Tanto la toxicidad como la peligrosidad de los plaguicidas se expresa mediante los siguientes pictogramas que deberán ser impresos en negro sobre fondo amarillo-anaranjado:

Nocivo: Una cruz de San Andrés (Xn).

Irritante: Una cruz de San Andrés (Xi) (Fig. 2)

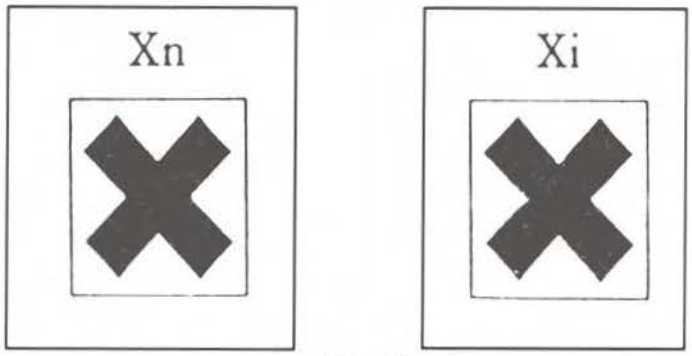


Figura 2.

Tóxico y Muy tóxico: Una calavera sobre dos tibias cruzadas (T / T+)

Peligroso para el medio ambiente: Un árbol y un pez

Corrosivo: La figura de un ácido en actividad (C) (Fig.3)

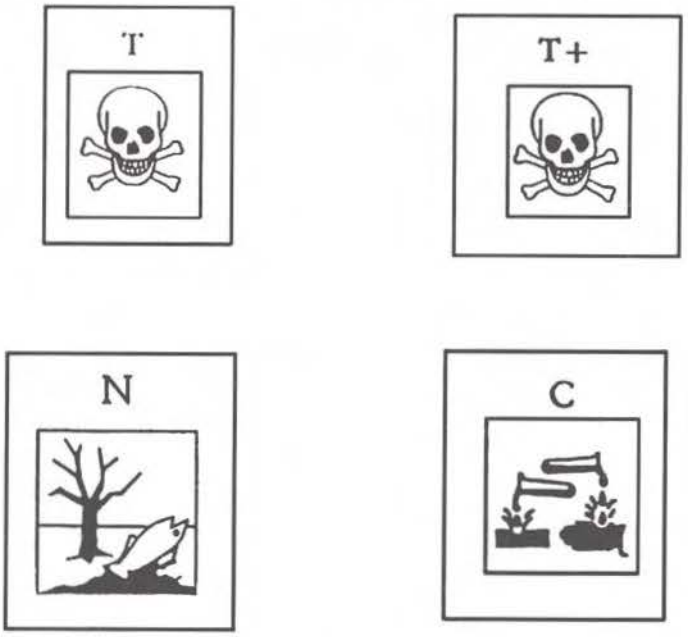


Figura 3.

Explosivo. Una bomba estallando (E)

Comburente: Una llama por encima de un círculo (O)

Fácilmente inflamable y extremadamente inflamable: Una llama (F/F+) (Fig. 4) (25).

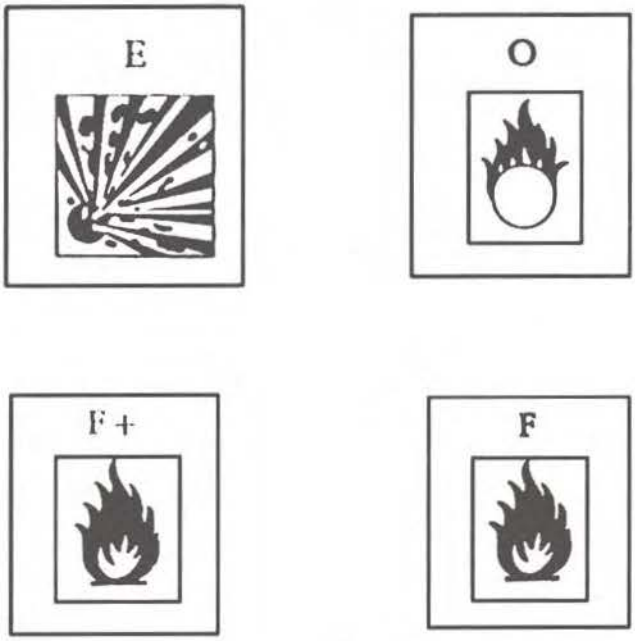


Figura 4.

Como hemos indicado, los productos fitosanitarios pueden afectar negativamente al medio ambiente, ya que pueden contaminar las aguas potables con el consiguiente riesgo sanitario no sólo para el hombre, sino para la fauna terrestre y pueden, al contaminar las aguas, disminuir la fauna acuática y terrestre. Por otra parte, el empleo de avicidas y herbicidas puede provocar la disminución de especies animales y de flora silvestres. De acuerdo con la peligrosidad para la fauna silvestre y la acuícola los productos fitosanitarios se clasifican en tres categorías:

A) Productos ligeramente tóxicos o inocuos y cuya utilización adecuada no entraña ningún riesgo para la fauna pero sí para las personas.

B) Aquellos medianamente peligrosos cuyo empleo con carácter masivo o en aplicaciones repetidas o inadecuadas, pueden entrañar riesgos graves para la fauna silvestre terrestre.

C) Productos peligrosos para la fauna silvestre acuícola y cuyo empleo ha de estar restringido a aplicaciones en determinados cultivos y en condiciones estrictas.

La Figura 5 nos ilustra sobre la relación plaguicida-ambiente (26).

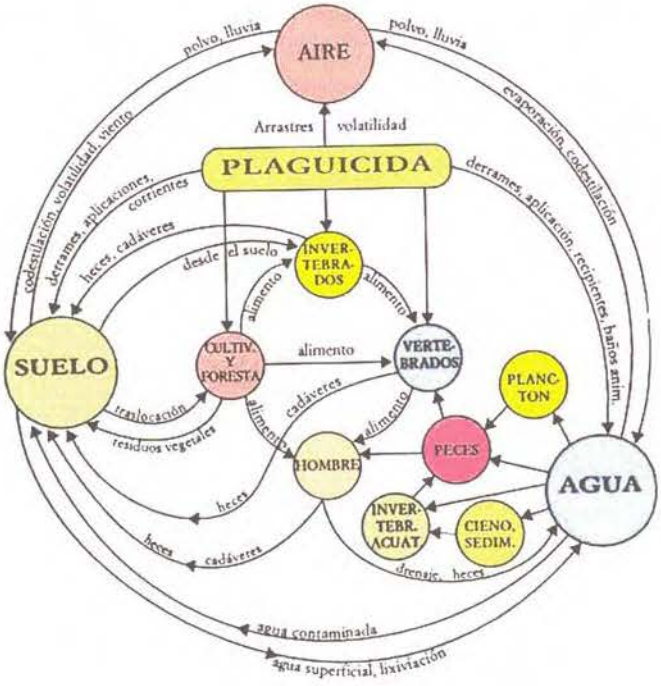


Figura 5.

IV. COMPETENCIAS DEL ESTADO PARA LA COMERCIALIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS FITOSANITARIOS

Los riesgos sanitarios que pueden derivarse de la utilización de los productos fitosanitarios justifican que su autorización y registro corres-

ponda a la Administración General del Estado a través de la Dirección General de Agricultura del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación actuando la Comisión de Evaluación de Productos Fitosanitarios, creada en 1994, como un órgano asesor adscrito a esa Dirección General y el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) como organismo acreditado para realizar los exámenes y evacuar los informes sobre los productos fitosanitarios.

IV.1. La Comisión de Evaluación de Productos Fitosanitarios

La Comisión estará presidida por el Director General de Agricultura y contará como vocales con los siguientes miembros:

— 3 de esa Dirección.

— 3 de la Dirección General de Salud Pública y Consumo del Ministerio de Sanidad y Consumo.

— 2 del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

— 2 por la Dirección General de Conservación de la Naturaleza , del Ministerio de Medio Ambiente.

— 2 del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria del Ministerio de Ciencia y Tecnología.

— 2 de la Dirección General de Alimentación del Ministerio Agricultura, Pesca y Alimentación.

— 2 del Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza del Ministerio de Medio Ambiente.

— 2 por la Secretaría de Estado de Educación y Universidades del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

— Como Secretario actuará un funcionario del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Las Comunidades Autónomas que lo deseen pueden nombrar un representante.

Se constituirán grupos de trabajo formados por expertos de los centros directivos y organismos oficiales citados así como por asesores científicos y técnicos que estudiarán la documentación presentada para la autorización de la comercialización de un producto fitosanitario en sus aspectos:

1. Fitoterapéutico. Que comprenderá la eficacia y selectividad de los productos fitosanitarios y otros efectos en los vegetales y productos vegetales.

2. Ecotoxicológico. Que comprenderá el alcance y difusión en el medio ambiente y los efectos nocivos, directos o indirectos sobre la fauna y la salud animal.

3. Analítico. Que comprenderá la identificación, propiedades físico-químicas y métodos de análisis de las sustancias activas y de sus metabolitos y productos de degradación así como el procedimiento de fabricación.

4. Seguridad. Que comprenderá la evaluación de riesgos para las personas que manipulan los productos fitosanitarios, las medidas de protección para la manipulación de los mismos, transporte y almacenamiento así como otras medidas relativas a la eliminación de envases y restos de productos.

La evaluación de los aspectos toxicológicos relativos a las personas corresponde a la Dirección General de Salud Pública y Consumo del Ministerio de Sanidad y Consumo y a la Comisión Conjunta de Residuos de Productos Fitosanitarios, creada en 1985, a quien corresponde la fijación de los límites máximos de residuos en productos alimenticios de origen vegetal en la forma que determina el Real Decreto de 11 de febrero de 2000 (27) y en los de origen animal a la Comisión Nacional de Coordinación de la Investigación y Control de Residuos o Sustancias en Animales Vivos y sus Productos, creada en 1998, en la forma que dispone el Real Decreto de 26 de noviembre de 1999 (28).

Para proteger la salud de los consumidores, la Administración ha fijado para cada sustancia activa, siguiendo un criterio toxicológico, la ingesta diaria admisible (IDA) y los límites máximos de residuos (LMR) a fin de que se pueda comercializar para el consumo humano o animal.

En la Comunidad Europea las primeras directivas se fijaron respecto a los contenidos máximos permitidos en frutas y hortalizas en 1976 mientras que para cereales y productos alimenticios de origen animal se fijaron en 1986 y desde esas fechas las modificaciones realizadas han sido constantes tanto en el acervo comunitario como en la legislación española.

IV.2. Autorización

Tiene lugar según lo dispuesto en el Real Decreto de 4 de noviembre de 1994 citado anteriormente y de acuerdo con el sistema armonizado comunitario. Por ello se refiere:

A) Inclusión de Sustancias Activas en la Lista Comunitaria. Por un periodo no superior a diez años siempre que sus residuos no tengan efectos nocivos sobre la salud humana o animal o repercusiones inaceptables para el medio ambiente.

El mecanismo de evaluación es el siguiente: Una vez realizado el informe por el organismo acreditado, es decir el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, la Dirección General de Agricultura lo somete a la consideración de la Dirección General de Salud Pública y Consumo del Ministerio de Sanidad y Consumo y después a la Comisión de Evaluación de Productos Fitosanitarios. Si el informe es validado por ésta, la Dirección General de Agricultura envia la documentación a la Comisión Europea. La Comisión remite la documentación para su estudio al Comité Fitosanitario Permanente quien propone la inclusión o no de la sustancia activa en la Lista Comunitaria.

La inclusión de una sustancia activa podrá ser renovada, previa petición, una o más veces por periodos de tiempo que no excedan de diez años. Sin embargo, el reexamen de las sustancias activas puede llevar a modificar las condiciones de su inclusión o a la supresión de la sustancia activa en la Lista Comunitaria.

B) Respecto a los Productos Fitosanitarios sólo podrán comercializarse en el territorio español si han sido previamente autorizados e inscritos en el Registro Oficial de Productos y Material Fitosanitario de la

Dirección General de Agricultura del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

La autorización de un producto fitosanitario se concederá para un periodo de hasta diez años siempre que se den las siguientes circunstancias:

a) Que las sustancias activas del producto fitosanitario estén inscritas en la Lista Comunitaria

b) Que sean utilizados conforme a los principios de buenas prácticas fitosanitarias

c) Que las consecuencias de su uso, a la luz de los conocimientos técnicos y científicos estén dentro de los siguientes Principios Uniformes:

   1. Que sean eficaces.
   2. Que no tengan efectos nocivos inaceptables para los vegetales o los productos vegetales.
   3. Que no tengan efectos nocivos para la salud humana y animal.
   4. Que no tengan efectos inaceptables para el medio ambiente.
   5. Que la naturaleza y cantidad de sustancias activas puedan determinarse por medios armonizados en la Comunidad Europea o por métodos oficiales españoles, los autorizados por la Dirección General de Agricultura ó los recomendados por la Comisión de Evaluación de Productos Fitosanitarios.
   6. Que sus residuos puedan determinarse por métodos generalmente aceptados
   7. Que sus propiedades fisico-químicas permitan una utilización y almacenamiento adecuados.
   8. Que hayan sido fijados los límites máximos de residuos para los productos agrícolas contemplados en la autorización y se hayan notificado a la Comunidad Europea.

Las autorizaciones podrán ser renovadas por periodos de diez años aunque podrán ser revisadas, ampliadas o revocadas a petición del titular.

La autorización de un producto fitosanitario ya autorizado en otro Estado miembro de la Comunidad Europea, se concederá sin exigir la repetición de las pruebas ya efectuadas para la obtención de la autorización de dicho Estado siempre que se cumplan los siguientes requisitos:

a) Que contenga únicamente sustancias activas inscritas en la Lista Comunitaria

b) Que las condiciones agrícolas, fitosanitarias y medioambientales, incluidas las climáticas que afecten a la utilización del producto, sean comparables en las regiones de que se trate.

c) Que se den los principios uniformes establecidos por Orden de 29 de noviembre de 1995 (29) y modificados por Orden de 9 de marzo de 1998.

Si se tienen en un momento dado razones válidas para considerar que un producto fitosanitario autorizado en otro Estado miembro de la Comunidad Europea constituye un riesgo para la salud humana, animal o para el medio ambiente, se podrá limitar su comercialización o no autorizarlo.

IV.2.1. *Procedimiento de registro*

Las solicitudes se presentarán ante la Dirección General de Agricultura del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación acompañadas de la documentación correspondiente en la lengua oficial del Estado, por duplicado más una copia en soporte magnético según lo dispuesto en la Orden de 4 de agosto de 1993 y las modificaciones contempladas en las Ordenes de 20 de septiembre de 1994, de 20 de noviembre de 1995, de 2 de abril de 1997 y de 9 de marzo de 1998.

La documentación deberá ordenarse y presentarse encuadernada en fascículos en el siguiente orden:

1. Documentación general.
2. Documentación Técnica.
   - 2.1. Identificación.
   - 2.2. Analítica.
   - 2.3. Fitoterapéutica.
   - 2.4. Ecotoxicología.
   - 2.5. Toxicología.
   - 2.6. Metabolismo y residuos.
   - 2.7. Seguridad.
3. Memoria Técnica.
4. Etiqueta.

Tenemos que tener en cuenta que se puede solicitar el registro para distintas situaciones:

1. En caso de tratarse de la inclusión de una sustancia activa en la Lista Comunitaria, la Documentación Técnica contendrá toda la información necesaria para evaluar la inocuidad de las sustancias o bien los riesgos previsibles, tanto de tipo inmediato como a largo plazo, que pueda entrañar la sustancia activa para el hombre, los animales y el medio ambiente.

Comprenderá:

Parte A.—Relativa a Sustancias Químicas.

Parte B.—Relativa a microorganismos y virus.

2. En caso de productos fitosanitarios que contengan una o varias sustancias activas nuevas para las que se haya solicitado su inclusión en la Lista Comunitaria, la Documentación Técnica exigida es similar a la anterior.

La Memoria Técnica constará de:

a) Identificación del producto fitosanitario.

b) Propiedades físico-químicas y técnicas.

c) Datos sobre la aplicación.

d) Información adicional.

e) Métodos analíticos.

f) Datos sobre la eficacia. Se acompañará un Resumen junto con una evaluación detallada haciendo referencia a:

— Beneficios que ofrece el producto fitosanitario.

— Efectos adversos.

— Medidas a adoptar para minimizar los efectos adversos.

g) Estudios toxicológicos. Deberá determinarse la exposición a la que probablemente estará sometido el usuario en las condiciones de empleo propuestas así como las personas ajenas a la utilización de los productos.

h) Residuos en productos tratados, alimentos y piensos. Se acompañará un Resumen y evaluación del comportamiento de los residuos con referencia especial a los riesgos para el hombre y los animales.

i) Destino y comportamiento en el medio ambiente.

j) Estudios ecotoxicológicos. Deberá realizarse un Resumen y evaluación de estos dos últimos puntos haciendo especial referencia a los riesgos que entraña el producto fitosanitario para el medio ambiente y las especies a las que no va dirigido el producto (aves, organismos acuáticos, artrópodos, lombrices de tierra).

3. En caso de productos fitosanitarios en cuya composición se contengan sustancias activas incluidas en la Lista Comunitaria. Bastará con una Memoria-Resumen de la Documentación Técnica y de la Memoria Técnica.

4. En caso de productos fitosanitarios que contengan una o varias sustancias activas que hayan sido comercializadas en algún país miembro de la Comunidad Europea, bastará con presentar una Memoria-Resumen de la Documentación Técnica y de la Memoria Técnica a la que

habrá que adjuntar una Documentación que justifique que las condiciones agrícolas, fitosanitarias y medioambientales existentes en otro país con las españolas son comparables.

5. En caso de no tratarse de sustancias activas nuevas y que hayan transcurrido diez años desde la primera autorización concedida en España para su comercialización, bastará con una Memoria-Resumen de la Documentación Técnica y de la Memoria Técnica.

IV.2.2. *Condiciones del etiquetado y envasado*

Las etiquetas de los envases deberán contener de manera clara y legible los siguientes datos redactados al menos en la lengua española oficial del Estado:

— Nombre comercial o denominación del producto.

— Nombre y dirección del titular de la autorización.

— Número de registro.

— Nombre y cantidad de cada sustancia activa.

— Contenido neto.

— Nº Lote.

— Pictograma no inferior a $1cm^2$ e indicaciones de primeros auxilios.

— Tipo de acción según la clasificación.

— Tipo de preparado y modos de empleo.

— Posible fitotoxicidad e intervalos que haya que observar en su aplicación.

— La frase «Leánse las instrucciones adjuntas antes de utilizar el producto». Instrucciones para una eliminación segura.

— Fecha de caducidad cuando el periodo de conservación sea inferior a dos años.

IV.2.3. *Condiciones para la exportación e importación*

Un producto fitosanitario no autorizado en España puede ser producido, almacenado y circular en territorio español, si tal producto está destinado a ser utilizado en otro Estado miembro en el que esté autorizado o para su exportación a terceros países. Quienes importen productos fitosanitarios de terceros países deberán presentar ante las autoridades aduaneras el oportuno justificante en cada caso de que el producto está autorizado en España o en otro Estado miembro de la Comunidad Europea. Los importadores deben registrarse en la Subdirección General de Sanidad Vegetal de la Dirección General de Agricultura.

V. COMPETENCIAS DE LAS COMUNIDADES AUTÓNOMAS EN MATERIA DE PRODUCTOS FITOSANITARIOS

La Reglamentación Técnico-Sanitaria para la fabricación, comercialización y utilización de plaguicidas de 1983 dispone en el Artículo 6º, apartado 142 que los establecimientos en que se fabrican y almacenan los productos fitosanitarios han de reunir los medios adecuados de producción, análisis y control de los productos fitosanitarios elaborados pero son las Comunidades Autónomas las que establecerán un programa de vigilancia de la correcta utilización de productos fitosanitarios que será remitido al Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación antes del 1 de enero de cada año.

V.1. Registro Oficial de Establecimientos y Servicios Plaguicidas

Deben inscribirse tanto los productores como los distribuidores de productos fitosanitarios.

Los locales en que se fabriquen, manipulen, almacenen o comercialicen plaguicidas en general y a quienes presten servicios de aplicación de estos productos presentarán una solicitud de inscripción en este registro ante el órgano competente de la Comunidad Autónoma en que se halle instalado.

La documentación contendrá al menos la siguiente información:

— Nombre del Titular.

— Dirección.

— Ámbito de las actividades.

— Descripción del establecimiento y planos de dependencias.

— Relación de equipos.

— Descripción de los tipos de plaguicidas a fabricar.

— Relación de personal.

— Licencia municipal.

El plazo de validez del certificado de inscripción es de 10 años pero se puede solicitar un nuevo plazo antes de la caducidad de la primera inscripción efectuada.

Si se han producido modificaciones se acompañará la documentación pertinente (30).

V.2. Libro Oficial de Movimiento de Plaguicidas Peligrosos (LOM)

Cuando los plaguicidas son clasificados como tóxicos o muy tóxicos es obligatorio para las empresas que los fabriquen, a las plantas formuladoras y a los aplicadores la tenencia de este libro. El titular del establecimiento deberá presentar el LOM ante el órgano competente de la Comunidad Autónoma en que se halle instalado el Registro Oficial de Establecimientos y Servicios de Plaguicidas.

En la primera hoja del LOM figurará la diligencia en que se hace constar el nombre del solicitante, la denominación y dirección del establecimiento, número de inscripción en el registro y fecha. El libro está compuesto por páginas numeradas, divididas verticalmente en columnas encabezadas por los siguientes datos:

— Fecha de adquisición del producto

— Identificación del plaguicida

— Identificación del suministrador

— Firma del comprador «Acepto la custodia y adecuada manipulación de los plaguicidas peligrosos reseñados en este documento».

— Si son aplicadores constará la identificación del cliente y nº de contrato (31).

También las anotaciones pueden efectuarse en soporte magnético.

El libro se revisará periódicamente y asímismo se diligenciará en el momento de su cancelación que puede ser solicitada por el titular.

V.3. Personal manipulador

Debido a la toxicidad que pueden presentar los productos fitosanitarios, el personal que los aplique puede sufrir intoxicaciones por lo que es necesario adoptar una serie de medidas preventivas. La primera es que el personal posea los conocimientos adecuados.

Según el Artículo 6, apartado 4 de la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la fabricación, comercialización y utilización de plaguicidas, el personal de las empresas dedicadas a la realización de tratamientos con plaguicidas deberá haber superado los cursos o pruebas de capacitación homologados conjuntamente por los Ministerios de Sanidad y Consumo y de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Por Orden de 3 de marzo de 1994 se establecieron los diversos niveles de capacitación para la aplicación de productos fitosanitarios, a saber:

— Nivel básico, sin emplear personal auxiliar

— Nivel cualificado, con empleo de personal auxiliar

— Piloto aplicador agroforestal

— Niveles especiales, cuando se emplean plaguicidas muy tóxicos con sus respectivos programas

La homologación de los cursos será expedida por las autoridades competentes de las Comunidades Autónomas y podrán ser organizados por las Universidades, por centros docentes o por servicios oficiales.

Al término del programa se expedirá el carné de capacitación que tendrá una validez de 10 años.

Los titulados superiores de las ramas agrícola y forestal están exentos de la posesión del carné para la realización de los tratamientos fitosanitarios. Los titulados en Ciencias Químicas, Biológicas, Farmacia , Medicina y Veterinaria podrán solicitar la convalidación acreditando haber superado en la formación postgraduada las materias correspondientes.

En segundo lugar, las manipulaciones con los productos fitosanitarios han de hacerse en lugares bien ventilados y utilizando el equipo adecuado en cada caso: mascarilla, guantes, gafas, bata, traje completo, etc...No obstante, el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación publica unos Manuales que contienen las Normas a tener en cuenta en los Tratamientos fitosanitarios y las Medidas a tomar en caso de intoxicación.

En tercer lugar, tras la aplicación del producto fitosanitario hay que proceder a una minuciosa limpieza de los aparatos, utensilios y de la propia persona así como proceder a la eliminación de restos del producto fitosanitario y de los envases utilizados (32).

VI. CONTROL DE RESIDUOS DE PRODUCTOS FITOSANITARIOS

Teniendo en cuenta la creciente globalización de los mercados, el 18 de noviembre de 1999 el Comité de las Regiones de la Comunidad Europea aprobaba por unanimidad un Dictamen para establecer un plan de acción sobre política de los consumidores que abarcara del año 1999 al 2001, plan entre cuyos objetivos se encuentra garantizar un elevado nivel de salud y seguridad para los consumidores (33). Para ello insta a que una de las prioridades de trabajo en esos tres años sean:

a) Adoptar una directiva marco para la legislación de los productos alimentarios

b) Mejorar y desarrollar el sistema de alerta rápida en caso de productos que constituyan un peligro para la salud

c) Lograr que se comercialicen exclusivamente alimentos sanos e irreprochables.

En efecto, mediante las notas orientativas del Comité Fitosanitario Permanente sobre los métodos de control de calidad de los análisis de los residuos de plaguicidas y las Recomendaciones de la Comisión en relación con los Programas coordinados de control plurianuales sobre los límites de residuos de plaguicidas que hayan sido fijados a escala comunitaria o a escala nacional; se podrá evaluar progresivamente la exposición dietética real al pesticida.

Para el control de plaguicidas en productos de origen vegetal, la Comisión de las Comunidades Europeas ha dado un Reglamento en 28 de marzo de 2000 para que se coordinen las acciones de control en los Estados miembros, acciones que contaran con participación financiera para garantizar el control de calidad de los análisis de residuos de plaguicidas en los laboratorios autorizados. La Comisión nombrará funcionarios expertos, que junto con las autoridades nacionales, comprobarán la ejecución de los programas de control. Podrán estos funcionarios ir acompañados en sus visitas, que se realizaran según un calendario adecuado, de expertos de uno o varios Estados miembros. Tras cada visita, la Comisión elaborará un informe escrito que elevará al Parlamento Europeo (34).

VI.1. Control estatal en España

Respecto al mercado interior en España, cada Comunidad Autónoma remitirá a la Dirección General de Agricultura del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, antes del 1 de julio de cada año, los resultados y datos relativos a la inspección y control de la comercialización y utilización de productos fitosanitarios referidos al año precedente al objeto de suministrar información a los demás Estados miembros y a la Comisión de la Comunidad Europea, cumpliendo así lo estipulado en el Real Decreto de 4 de noviembre de 1994 ya citado por el que se implantó el sistema armonizado comunitario para la comercialización de productos fitosanitarios. Pero como además se establecían las bases de un programa comunitario para la revisión de las sustancias activas existentes en el mercado, por Orden de 28 de enero de 1996 (35) se dictan las normas de evaluación de sustancias activas para su inclu-

sión en la Lista Comunitaria debiendo ser realizados los exámenes por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.

En cuanto al mercado exterior, en los casos de importación de productos fitosanitarios de terceros países, los puntos de entrada son, en cumplimiento de la Directiva 77/93/CEE, los Puestos fronterizos que se indican en la Fig. 6.



Relación de puntos de entrada en la Comunidad Europea para vegetales, productos vegetales u otros objetos procedentes de países terceros, en cumplimiento de la Directiva 77/93/CEE

En cumplimiento de lo dispuesto en la Directiva 77/93/CEE, se relacionan a continuación los puntos de entrada en la Comunidad Europea dentro del territorio español (excepto islas Canarias, Ceuta y Melilla) para los vegetales, productos vegetales u otros objetos relacionados en el anexo V, parte B procedentes de terceros países:

Aduanas terrestres: ninguna.

Aduanas marítimas:

Provincia de Alicante. Puerto: Alicante
Provincia de Almería. Puerto: Almería
Provincia de Asturias. Puertos: Musel-Gijón y Avilés
Provincia de Baleares. Puerto: Palma de Mallorca
Provincia de Barcelona. Puerto: Barcelona
Provincia de Cádiz. Puertos: Algeciras y Cádiz
Provincia de Castellón. Puerto Castellón de la Plana
Provincia de Girona. Puerto Palamós
Provincia de Guipuzcoa. Puerto Pasajes
Provincia de Huelva. Puerto: Huelva
Provincia de La Coruña. Puerto La Coruña y El Ferrol
Provincia de Málaga. Puerto Málaga
Provincia de Murcia. Puerto Cartagena
Provincia de Pontevedra. Puertos: Marín, Vigo y Villagarcía de Arosa
Provincia de Sevilla. Puerto: Sevilla
Provincia de Tarragona. Puerto: Tarragona
Provincia de Valencia. Puertos: Gandía, Sagunto y Valencia
Provincia de Vizcaya. Puerto: Bilbao
Provincia de Cantabria. Puerto: Santander

Aduanas aéreas:

Provincia de Baleares. Aeropuerto: Palma de Mallorca
Provincia de Barcelona. Aeropuerto: Barcelona (Prat de Llobregat)
Provincia de Madrid. Aeropuerto: Madrid (Barajas)
Provincia de Sevilla. Aeropuerto: Sevilla
Provincia de Valencia. Aeropuerto: Valencia (Manises)

Figura 6

Los inspectores fitosanitarios realizaran los controles documentales y de identidad y como autoridad pública que son tendrán acceso a las instalaciones donde se almacenen los productos y a su disposición:

a) Las directrices de la inspección española con arreglo a la legislación comunitaria

b) la legislación fitosanitaria comunitaria actualizada

c) La lista de los laboratorios especializados

d) Sistemas de comunicación de última generación para comunicarse con la autoridades aduaneras, con los Estados miembros y con la Comisión de la Comunidad Europea. No obstante, es

el Laboratorio Arbitral Agroalimentario, adscrito a la Dirección General de Política Alimentaria e Industrias Agrarias y Alimentarias el Laboratorio Nacional de Referencia que fue designado como tal en el Plan Nacional de Investigación de Residuos de 1989 y en el que quedó integrado el Laboratorio de Residuos de Plaguicidas de Madrid por Orden de 11 de abril de 1997.

VI.2. Control en la Comunidad Autónoma de Madrid

De acuerdo con el Real Decreto 280/ 1994, de 18 de febrero, corresponde a las Comunidades Autónomas la elaboración de planes anuales de vigilancia de productos fitosanitarios. La Comunidad Autónoma de Madrid tiene asumidas las competencias en materia de agricultura, protección del medio ambiente y sanidad. Las que se refieren a materia de agricultura y protección del medio ambiente, se atribuyen desde 1999 a la Consejería de Medio Ambiente. Ya en 1989 se creó la Comisión Regional de Plaguicidas (36) al objeto de aplicar adecuadamente la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la fabricación, comercialización y utilización de plaguicidas. La Comisión tiene encomendadas entre otras funciones la planificación y organización de la inspección y control oficial de plaguicidas. Está integrada por directivos y técnicos de las Consejerías competentes, a saber:

— Presidente: el Director General de Agricultura de la Consejería de Medio Ambiente o persona en quien delegue.

— 5 Vocales que podrán ir acompañados por dos asesores

— El Director General del Medio Natural de la Comunidad Autónoma de Madrid o persona en quien delegue.

— El Director General de Calidad y Evaluación Ambiental o persona en quien delegue.

— El Director General de Salud Pública de la Consejería de Sanidad o persona en quien delegue

— El Director General de Alimentación y Consumo de la Consejería de Economía y Empleo o persona en quien delegue

— 1 Representante de la Dirección General de Agricultura

— Secretario. Un funcionario de la Dirección General de Agricultura.

La Comisión podrá asimismo requerir la colaboración de otros técnicos. El laboratorio acreditado es el del Instituto Madrileño de Investigación Agraria y Alimentaria (IMIA).

VII. LUCHA INTEGRADA

La lucha integrada está definida en la Directiva del Consejo de 15 de julio de 1991 como «la aplicación racional de una combinación de medidas biológicas, biotecnológicas, químicas, de cultivo o de selección de vegetales de modo que la utilización de productos fitosanitarios químicos se limite al mínimo necesario para mantener la población de la plaga en niveles inferiores a los que producirían daños o pérdidas inaceptables desde un punto de vista económico» (37). A tal fin, la Comunidad Europea financia Programas con cargo al Fondo Europeo de Orientación y de Garantía Agrícola (FEOGA) con el objeto de mejorar la calidad de los alimentos de acuerdo con la campaña propuesta por cada Estado miembro, programas en los que, como el establecido en España por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, con cargo al FEOGA; para la campaña 2000/2001 para la mejora de la producción del aceite de oliva, incluye acciones para luchar contra la mosca del olivo y otros organismos nocivos, mejorar las condiciones de cultivo y tratamiento de los olivos asignando cantidades importantes para el plan de tratamientos químicos, mejorar las condiciones de almacenamiento de las aceitunas y mejorar el medio ambiente.

El Estado español subvenciona desde 1989 a las Agrupaciones para Tratamientos Integrados en Agricultura (ATRIAS) a fin de que los agricultores puedan contratar personal técnico y puedan así utilizar productos fitosanitarios que puedan aportar una innovación y mejora en la aplicación de las técnicas de lucha integrada. Hoy día, a través del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, se han convocado ayudas para la realización de proyectos de investigación para el período

2000-2003, con cargo al Plan de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica; sobre acciones estratégicas para el control de la calidad y la seguridad de los alimentos entre cuyos objetivos se aborda el establecimiento de criterios y métodos para la detección de pesticidas en materias primas (38).

La Consejería de Medio Ambiente de la Comunidad Autónoma de Madrid, estableció en 1998 un programa para financiar tratamientos fitopatológicos en los olivares para un período de cinco años. La finalidad de este programa era racionalizar los tratamientos al objeto de obtener producciones agrarias compatibles con las exigencias de la protección del medio ambiente y la conservación del espacio natural. En la campaña 2000/2001, se establecen las técnicas así como los productos fitosanitarios para combatir las plagas del olivar (39). La decisión de la intervención ha de correr a cargo de un técnico y en caso de necesidad se llevaría a cabo una intervención química utilizando sustancias seleccionadas en base a:

a) Menor impacto ambiental.

b) Mayor eficacia.

c) Menor dosificación toxicológica.

d) Menor problema de residuos.

e) Menor efecto sobre la fauna auxiliar.

f) Menor problema de resistencia.

VIII. PREVISIONES EN LA UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS FITOSANITARIOS EN EL TERCER MILENIO

Dado que la política agraria sigue siendo la primera y más importante de las políticas integradas de la Comunidad Europea las previsiones para la utilización de productos fitosanitarios en el futuro tendrán que estar dirigidas en el sentido siguiente:

1.º Fomentar el modelo de agricultura europea informando adecuadamente a los agricultores. Ese modelo debe ser el de la *Agricultura*

Sostenible basado en la producción de alimentos suficientes en el terreno existente, de forma económica, con respeto al medio ambiente y contemplando una mejora de la calidad de vida del agricultor.

2.º Llevar a cabo acciones destinadas a mejorar la producción agrícola, como la *Lucha integrada* que permita erradicar las plagas que afectan a los cultivos por medios biológicos, biotecnológicos o químicos y mediante la aplicación de unas buenas prácticas agrícolas.

3.º Incentivar la *Investigación* a fin de que se puedan obtener moléculas químicas nuevas que puedan ser utilizadas como productos fitosanitarios de menor toxicidad. Debido al elevado costo de la investigación, y a petición de las empresas, la Comunidad Europea creó en 1996 el *Certificado Complementario de Protección* para los productos fitosanitarios ampliando así la protección de la patente de base cinco años para amortizar las inversiones efectuadas en investigación y generar los recursos necesarios para mantener una investigación fructífera (40).

4.º Proteger una *Agricultura Ecológica* favoreciendo la puesta en el mercado de productos agroalimentarios en cuya producción, elaboración y conservación no se emplean productos químicos de síntesis, productos que para que sean identificados por los consumidores han de llevar en el etiquetado un logotipo comunitario (41) (Fig. 7).



Figura 7

5.º Promulgar disposiciones legales sobre la utilización de productos fitosanitarios y vigilar que éstas se cumplan. A tal fin, la Comunidad Europea ha proyectado crear en el año 2002 una *Agencia Europea de Inspección Veterinaria y Fitosanitaria* (42) que al verificar la aplicación de las directivas comunitarias tendría resultados satisfactorios para la salud pública, la protección del consumidor y la industria alimentaria.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

(1) Loyat, J. y Petit,Y. (1999): *La politique agricole commune*. Paris, La Documentation française
(2) Versión consolidada 97/ C 340 03 *DOCE* C 340, 10-11-1997; pág. 173 y s.s.
(3) Informe nº 3/2000 *DOCE* C 100, 7-4-2000; pág. 1 y ss.
(4) Dávila Zurita, M. M.ª y Buendía Moya, J. (1991): *El mercado de los productos fitosanitarios*. Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
(5) García Baudin, J. M.ª (1988): Los Productos Fitosanitarios en la Agricultura Española. En *Los productos fitosanitarios en el marco del registro único europeo*. Madrid, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.
(6) Aranzadi (1994): *Repertorio cronológico de Legislación*. Vol. II. Pamplona, edit. Aranzadi, R. 1000.
(7) Decisión 76/ 894/ CEE de 23-11-1976. *DOCE* L 340, 9-12-1976; pág. 25.
(8) Decisión 78/ 436/ CEE de 21-4-1978. *DOCE* L 124, 12-5-1978; pág. 16 y ss.
(9) Directiva 79/ 117/ CEE de 21 -12-1978. *DOCE* L 33, 8-2-1979; pág. 36 y ss.
(10) *DOCE* L 230, 19-8-1991; pág. 1 y ss.
(11) *DOCE* L 265, 27-9-1997; pág. 87 y ss.
(12) Real Decreto 1890/ 1996, de 2-8-1996. *BOE* nº 189, 6-8-1996; pág. 24287 y s.s. y Real Decreto 998/ 1999, de 11-6-1999. Aranzadi (1999): *Repertorio Cronológico de Legislación*. Vol. II. Pamplona, edit. Aranzadi, R. 1578.
(13) Buj Buj, A. (1996): *El Estado y el Control de plagas agrícolas*. Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, pág. 162.
(14) Aranzadi, E. (1951): *Diccionario de Legislación*. Pamplona, edit. Aranzadi. Tomo VII, R. 8695.
(15) Decreto de 27 de noviembre de 1953. Bayona Sánchez, J. (1956): *El Farmacéutico Titular*. Madrid, edit. Estades, pág. 45.
(16) *BOE* nº 150, 24-6-1985, pág. 19591.
(17) Código Alimentario Español (1980). Madrid, BOE, pág. 381.
(18) Constitución Española (1978). Madrid, Suc. de Rivadeneyra S.A., pág. 13.
(19) Ley 26/ 1984 de 19-7-1984. *BOE* nº 176, 24-7-1984, pág. 21686.

(20) ARANZADI, E. (1984): *Repertorio Cronológico de Legislación* . Pamplona, edit. Aranzadi, R. 198.
(21) Real Decreto 1893/ 1996, de 2-8-1996. *BOE* nº 189, 6-8-1996, pág. 24304.
(22) Ley Orgánica 3/ 1986, de 14-4-1986. *BOE* nº 102, 29-4-1986, pág. 15207.
(23) Real Decreto 2163/ 1994 de 4-11-1994. *BOE* Nº 276, 18-11-1994, pág. 35452.
(24) Orden de 20-11-1995. *BOE* nº 282, 25-11-1995, pág. 34178.
(25) FRANCÉS CAUSAPÉ, M. C. (1997): Los sectores químico y farmacéutico. Riesgos y Defensa civil. *Master en Seguridad y Defensa*, celebrado en la Escuela Superior del Ejército; organizado por el Departamento de Economía Aplicada III de la Universidad Complutense y CESEDEN-ALEDE-Ministerio de Defensa.
(26) DE LA JARA, A.F. (1980): *La contaminación por plaguicidas*. Boletin Técnico D.S.M.70/75 Shell México, S.A. de C.U.
(27) Real Decreto 198/ 2000, de 11-2-2000. *BOE* nº 39, 15-2-2000, pág. 6847.
(28) Real Decreto 1800/ 1999, de 26-11-1999. *BOE* nº 284, 27-11-1999, pág. 41122 y ss.
(29) Orden de 20-11-1995. *BOE* nº 282, 25-11-1995, pág. 34196 y ss.
(30) Orden de 24-2-1993. *BOE* nº 54, 4-3-1993, pág. 6839 y ss.
(31) Orden de 24-2-1993. *BOE* nº 54, 4-3-1993, pág. 6841 y ss.
(32) SALMERÓN DE DIEGO, J. (1988): *Precauciones con los productos fitosanitarios*. Madrid, Secretaría General Técnica MAPA.
(33) Dictamen 2000 / C 57/ 12. *DOCE* C 57, 29-2-2000, pág. 74 y ss.
(34) Reglamento CE nº 645/ 2000 de la Comisión de 28-3-2000. *DOCE* L 78, 29-3-2000, pág. 7 y ss.
(35) *BOE* nº 81, 3-4-1996, pág. 12535 y s.s.
(36) Decreto 46/ 2000, de 16-3-2000, de la Consejería de Medio Ambiente. *BOCAM* nº 75, 29-3-2000, pág. 8 y s.s.
(37) *DOCE* L 230, 19-8-1991, pág. 4.
(38) Orden de 6-3-2000. *BOE* nº 58, 8-3-2000, pág. 9666.
(39) Orden 1424/ 2000, de 3-4-2000. *BOCAM* nº 83, 7-4-2000, pág. 41 y s.s.
(40) Reglamento CE nº 1610/ 96 del Parlamento Europeo y del Consejo. *DOCE* L 198, 8-8-1996, pág. 30
(41) Reglamento CE nº 331/ 2000 de la Comisión de 17-12-1999. *DOCE* L 48, 19-2-2000, pág. 1 y s.s.
(42) Dictamen 97/ C66/ 13, aprobado por el Comité Económico y Social en 27 de noviembre de 1996. *DOCE* C 66, 3-3-1997, pág. 43 y s.s.

VI. Ética y educación ambiental: recursos imprescindibles

SEGUNDO JIMÉNEZ GÓMEZ.
Académcio de Número.

I. JUSTIFICACIÓN Y ANTECEDENTES

Quizás pueda sorprender que un tema relacionado con la educación, tenga o no apellido, al igual que el de la promoción de la salud, se encuentren incluidos dentro un ciclo que se dedica a recursos, con el calificativo adicional de ser cualificados.

Los recursos se suelen objetivar en lo material, en productos o sustancias presentes en los tres subsistemas naturales, aire, agua y suelo, incluido el subsuelo; de ahí la necesidad de conservarlos. Pero no es menos cierto que la humanidad, demandante de recursos, es también, por sí misma, un recurso. Por ello, la salud no es sólo una ausencia de enfermedad, sino un "estado completo de bienestar físico, mental y social" (OMS, 1946), lo que la convierte en un importante recurso, hasta el punto de que su conservación y promoción ha alcanzado valoraciones preferenciales, rayanas de lo mítico. Su manifestación más inmediata ha sido el espectacular crecimiento de la esperanza de vida que en España, sólo en los últimos 25 años, ha determinado que la población con más de 65 años crezca del 10 al 17% de la población total.

Pero no son pocos los expertos que aprecian que la conversión de la salud en un factor de bienestar de primera línea, ha acarreado, sin razón aparente, la devaluación de los principios éticos y morales. Cómo si la utopía de erradicar el dolor fuera pretexto bastante para marginar las cuestiones educacionales, éticas y morales. Hay valores como la libertad, la justicia, la verdad y la solidaridad, junto a los religiosos para quienes los tenemos, que debieran alcanzar, como mínimo, una valora-

ción semejante a la de la promoción de la salud. Ante este tipo de cuestiones, García Barreno (1992) comentaba hace unos años que en temas como la distribución de recursos o en la toma de decisiones razonadas "la sociedad parece ser incapaz de darse cuenta o bien desea ignorar los componentes éticos implicados".

Y aquí se hace presente la educación, tan vinculada a los recursos como la salud, pues si la ética es el código determinante de las conductas de las personas, la educación, por su parte, desarrolla todas las facultades del individuo para facilitarle sus relaciones de convivencia, con expresa inclusión del entorno físico. Educación es, en todo caso, superar los impulsos y hasta los sentimientos, para no molestar a los demás.

Universalizar la educación básica, es un objetivo fundamental que, desgraciadamente, se está lejos de conseguir. El día en que se logre se habrá dado un paso gigante en el incremento de la reserva humana de recursos, porque ello conducirá a una mejora generalizada del nivel de vida.

Pero el título de esta intervención no habla sólo de educación, sino que se matiza con el término ambiental, lo que, sin merma alguna, puntualiza los objetivos básicos de un proceso educativo como recurso que, por serlo, ha de mejorar nuestra convivencia y nuestras relaciones con el entorno físico; pues Recursos y Naturaleza están ligados entre sí, incluso se identifican, al incidir ambos sobre el nivel de bienestar de los pueblos.

La Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo de las Naciones Unidas (1988), en su Informe "Nuestro Futuro Común", correlacionaba directamente consumo, deterioro ambiental y pobreza, ratificando las manifestaciones que hizo Indira Ghandi en la Conferencia de Estocolmo de 1972 en el sentido de que la conservación de la Naturaleza era una acción convergente con la lucha contra la pobreza. Su propuesta de "desarrollo sostenible", aunque quedó lejos de una definición operativa, abrió un nuevo ámbito de responsabilidad al dejar clara la necesidad de adecuar el consumo a los recursos renovables. Nadie negó la dificultad de lograrlo, y no faltaron los que lo situaron en el plano de lo utópico, pero en todo caso fue un avance importante ante la evidencia de que el desarrollo sólo mejoraba las condiciones de vida de

una parte de la humanidad, mientras que a la deprimida la sumía más en la pobreza, hasta convertirla en una amenaza para la paz.

Posiblemente, la causa de esta disfunción se deba a que el desarrollo social ha ocurrido bajo el influjo de un progreso técnico, sin que el desarrollo humano haya corrido paralelo con él. Así, se han desplazado principios y valores que tenían vigencia desde épocas remotas, en las que el concepto de Naturaleza estaba ya vinculado con la Educación y con la Ética. Planteamiento que no es de hoy, cuando disponer de un Medio Ambiente sano se percibe como un derecho fundamental de la persona, sino que es algo muy antiguo, conocido desde la época de los filósofos griegos, hace 2500 años.

A Demócrito (h. 460 a.C.), al igual que a Leucipo su maestro, las gentes de Ciencias les conocemos más por haber sido los creadores del atomismo que por sus trabajos de observación de la Naturaleza. Demócrito se ocupó de los fenómenos celestes y atmosféricos, del fuego y de sus efectos, de las semillas, de las plantas y de los frutos, de la vida animal y de otras cuestiones semejantes, a través de las cuales se sumergió en un profundo humanismo que le llevó a decir que "Naturaleza y Educación están emparentadas, pues la educación transforma al hombre y al transformarlo obra al modo de la Naturaleza". Para hacer esta formulación, Demócrito no se apoyó en ningún principio religioso, sino en la autonomía y libertad del hombre, que hace de su ética y de su propia conducta la razón primaria de su valoración personal.

Si con muy pocas palabras se quisiera evaluar la Ciencia del siglo que termina, habría que hablar de esplendor y globalidad en el conocimiento, masificación en la producción y proyección sobre la sociedad. La Ciencia ha irrumpido de manera estruendosa en el desarrollo técnico produciendo una floresta de conocimientos y de inventos que han modificado las formas de comportamiento los estilos de vida y las estructuras sociales. La Ciencia ha dejado de ser socialmente neutra, y su dominio se implica en el estudio de nuestros sistemas de convivencia.

Pero situar todo el avance científico y técnico en el siglo XX, aunque en él haya tenido lugar una gran parte, sería faltar a la realidad. Es verdad que el acervo de conocimientos ha tenido un lento caminar. Desde la aparición de la cerámica 6000 años a.d.C., hasta la del arado tuvieron que

transcurrir 1500 años; la metalurgia data de 3000 años a.d.C., y el cultivo de las Matemáticas se inició hacia el año 2000 a.d.C., etc. Incluso después del desarrollo de la imprenta en 1450 (su descubrimiento fue anterior), el caminar ha sido lento hasta hace menos de tres siglos. Ni siquiera el Descubrimiento de América aportó grandes novedades en lo científico y en lo técnico, excepción hecha de probar la unidad de la especie humana, aunque con sus discretas diferencias étnicas. Sin embargo, se mantuvieron errores como la existencia de hombres con uno o con cuatro ojos, la del Ave Fénix o la de hormigas del tamaño de perros.(Rey Pastor.1951)

Con la máquina de vapor de Watt, en 1764, y la subsiguiente Revolución Industrial, se iniciaron las tres centurias enriquecedoras: La electricidad, tenida como algo divertido a principios del XVIII, se convierte en fuerza motriz en el XIX, y algo más tarde en sistema de iluminación, aunque en 1878 aún se consideraba que la luz eléctrica era imposible. El ferrocarril comienza, también, en la primera mitad del XIX. El teléfono se implanta hacia 1875, el automóvil hacia 1890, aunque los hermanos Renault comercializaron su primer modelo en 1899. El primer vuelo con motor, de sólo unas pocas decenas de metros, se logró en 1903 y aunque poco después se cometía la imprudencia de decir que las máquinas voladoras más pesadas que el aire no serían nunca viables, en 1969 el hombre ponía el pie en la Luna.

Hay, pues, razones fundadas para anticipar a algo menos de tres siglos el comienzo del despegue tecnológico y científico. Pero a partir de ahí nace lo que se ha llamado la "evolución tecnofisológica" surgida de la sinergia entre los avances tecnológicos y una cierta evolución biológica, rápida y todavía en curso. Según el Nobel Robert W. Fogel (otoño 1999) a ella se debe el aumento de longevidad y de estatura de las personas, y el que su peso se haya incrementado entre un 40% y un 60% desde 1775 a 1995, según países y en función de sus insumos energéticos.

No obstante, en éste último tercio del siglo, el progreso se ha acelerado en tal grado que, hace sólo 50 años, resultarían impensables los avances conseguidos en la producción agrícola e industrial, en la vivienda, en el transporte, en las comunicaciones, en el comercio, en el suministro de energía, en la asistencia sanitaria, en la oferta de servicios, incluidos los de ocio, etc.

El hombre domina el espacio, aunque, casi, se nos haya olvidado la gesta del alunizaje. Venus y Marte han sido reiteradamente explorados. Se conoce la naturaleza de su atmósfera (CO_2 y SO_4H_2), su densidad, la temperatura de su superficie (480º C). Igualmente se ha explorado Titán, satélite de Saturno, del que se sabe la composición de su atmósfera (nitrógeno con algo de metano) y la temperatura de su superficie (-180º C).

La Informática se ha insertado en nuestros modos de vida, siéndole familiar hasta a los niños. La Biotecnología es una realidad sin haber dejado de ser esperanza. La nueva Genética, con el apoyo de la Informática, nos asombra cada día con alguna novedad que contribuye a la mejora de la salud o de la alimentación. La Biología se ha convertido en una Ciencia experimental que permite conocer buena parte de los mecanismos que ocurren en los seres vivos, etc.

Decía Ortega, que "la Técnica es la reforma que el hombre impone a la Naturaleza para satisfacer sus necesidades", pero su intuición analítica le permitió decir, también, "que la técnica es la producción de lo superfluo, tanto hoy como en la época paleolítica", y que "hombre, técnica y bienestar son, en última instancia, sinónimos".

En la actualidad, nadie piensa ya que la investigación básica se concrete a la búsqueda del saber por sí solo. Todo acaba siendo aplicado y comercializado en poco tiempo. A este tenor, señala Sánchez del Río (1995) que el descubrimiento del neutrón en 1932 fue un hecho científico trascendente que aclaró muchos enigmas relativos a los núcleos, pero seis años después demostró su importancia práctica al descubrir Hans, en 1938, la fisión del uranio por neutrones, lo que dio paso a la bomba atómica en 1945 y, poco después, a la energía nuclear con fines comerciales.

II. DESARROLLO Y DETERIORO AMBIENTAL

La metodología seguida por Ciencia de hoy ha originado una explosión de conocimientos y de aplicaciones prácticas, determinantes de una civilización que, por primera vez en la historia de la humanidad, tiene

un carácter de globalidad planetaria, siendo causa de que de manera generalizada —aunque con graves desequilibrios sociales y geográficos—, se viva un desarrollo científico, técnico y cultural, como jamás se había conocido, lo que condujo a Zubiri a situarle entre los cuatro hitos básicos del pensamiento humano, como acertadamente puso de manifiesto nuestro compañero Reol, en esta Real Academia, hace un par de años.

En la misma línea, el libanés Amin Maalouf decía, no hace mucho, que "la civilización occidental se ha convertido en civilización planetaria a causa de su enorme expansión material e intelectual". La Ciencia está, pues, conformando nuestra forma de vida; ha creado una nueva Sociedad y una nueva cultura, y se impone el complemento de la Ética para que la Ciencia y la Sociedad tengan un crecimiento integrado que, a su vez, haga posible el del hombre con su entorno.

El compromiso para la búsqueda de esta concordancia queda fuera de toda duda, pues al amparo del desarrollo técnico se han creado unos hábitos de consumo, de exigencia progresiva en calidad y en cantidad, incentivados por estímulos publicitarios que, al actuar simultáneamente sobre oferta y demanda, facilitan la rápida sustitución de los productos en uso, incrementándose la presión de la demanda sobre el Medio al mismo tiempo que se convierte en desecho lo que bajo otras condiciones hubiera mantenido su vida útil durante muchos años.

En las dos décadas comprendidas entre los años 1970 y 1990, la población mundial creció un 47%, que ciertamente es mucho, pero los automóviles lo hicieron en un 124%, y la capacidad de las Centrales Térmicas en un 136%. En un Informe al Club de Roma de 1997, (Ulrich y colaboradores, 1998), se dice sin rodeos que "la capacidad de la Tierra para absorber los desechos y las emisiones es más limitada que las reservas de materias primas", o sea que disponer de espacio físico para depositar los residuos generados por el consumo es aún más grave que la posible carencia de recursos.

Según la National Academy of Engineering de USA, el 93% de los recursos utilizados nunca se transforman en productos vendibles y el 80% de los productos acabados se tiran tras de un solo empleo. Cifras que impresionan sin necesidad de más comentarios.

La erosión del suelo y la desertización progresan en paralelo con el incremento de la productividad agrícola y ganadera, hasta haber hecho de aquel un recurso agotable.

El incremento de consumo energético incide en el deterioro del aire, que está recibiendo una emisión de CO_2 próxima a las 4 T de C/persona y año, cuando el valor de equilibrio, para la población actual del planeta, se cifra en 2,3 T/ persona y año; a esto hay que añadir la falta de equidad que supone el manejo de valores medios, que en muchos países se triplican o cuadriplican. Alemania, por ejemplo, alcanza una cifra de emisión de 11,5 T/persona y año.

Entre los años 95 a 99 se han celebrado hasta cinco Conferencias sobre Cambio Climático en las que, tras hacer notar los excedentes de emisión de CO_2 que se producen (3000 MM de T anuales) y el aumento del efecto invernadero que ello acarrea, se llegó a un acuerdo mediocre (Kyoto, 1997) de una disminución media del 5,2%, aunque USA, que aporta el 25% de las emisiones globales y sólo tiene el 5% de la población, disminuirá un 7%, y la U.E. un 8%. A finales de noviembre de 2000 se ha celebrado la Sexta Conferencia, sin ningún progreso sobre lo anterior.

Pero no es sólo el CO_2; también se han vertido otros gases, como los CFC, responsables del efecto invernadero y del agujero de ozono, que además han aumentado el riesgo de cáncer de piel y de otras enfermedades. En la actualidad están prohibidos, pero mantendrán sus efectos durante más de 100 años a causa de su larga vida media. Parece demostrado que desde 1940 la temperatura de la Antártida ha subido en 2,5º C.

Igualmente se ha contaminado el agua a causa de su mal uso y de la lentitud con que se han implantado los sistemas de depuración. Más de 2500 MM de personas carecen de agua potable, y hay 1000 MM de personas que cada año se ven afectadas por enfermedades transmitidas a su través. En abril de 1997 las Naciones Unidas emitieron un documento titulado "Evaluación Completa del Agua Dulce" en el que se afirmaba que una tercera parte de la población mundial vive en países que tienen una escasez de agua entre moderada y alta, pero que esa proporción podría alcanzar a las dos terceras partes en el año 2030, si no se adoptan medi-

das correctoras. En el Informe del Worldwatch Institute de 1999 se advierte que las reservas de agua decrecen continuamente lo que supone un riesgo de que los alimentos disponibles se reduzcan en un 10%.

Comentarios semejantes pueden hacerse sobre la pérdida de biodiversidad; según el citado Informe hay amenaza de extinción del 11% de las especies de aves, el 25% de las de los mamíferos y el 34% de las de peces. Con la destrucción de bosques el problema es semejante, unas veces de forma criminal, otras por consumo irrefrenado, y otras, en fin, porque todavía hay 1500 MM de personas que dependen de los árboles para cubrir sus necesidades energéticas.

A pesar de todo este deterioro el desarrollo económico tampoco ha producido todas las mejoras sociales que podrían haberse esperado. Continúan existiendo muchas lagunas en aspectos básicos: El analfabetismo aún alcanza al 25% de la población mundial, la mortalidad infantil debe de mejorar, pues, incluso en Europa es superior al 7 por mil. Hay problemas sanitarios, como el del SIDA en fase creciente, y hay enfermedades contagiosas que se tenían controladas, tuberculosis, malaria o sarampión, que reaparecen con especial virulencia. El paro es una lacra que hay que combatir, pues aunque el seguro de paro palie el problema económico, deja sin cubrir el anímico, el afectivo, el de la realización de la persona. El parado no sólo pierde dinero sino estima personal, y desperdicia para sí y para la sociedad sus capacidades y su talento.

Tampoco sociológicamente ha sido todo esplendor. Han subido los niveles de vida, pero esta civilización no es solidaria, por mucho que lo proclame, sino simplemente consumista. Es un tipo de civilización que aleja al hombre de su humanismo central y de sus concepciones éticas, situándole en una colectividad amorfa, "muchedumbre solitaria", donde prima más tener que saber, con depreciación de los valores que no sean materiales. Decía Racionero no hace mucho (ABC. Tercera. 1999) que "creer que progresamos porque se va a Marte es olvidar que no sólo de pan vive el hombre y que primero hay que dejar la casa sosegada antes de buscar fuera de ella". Y que mientras los avances de la Ciencia "no logren armonizar la razón con las pasiones, la inteligencia con el instinto, se hace urgente una reactivación moral de la escala de los valores que estructuran la convivencia en sociedad". La Ciencia tiene que con-

tribuir a "armonizar las emociones con la inteligencia" para "recuperar el equilibrio animal perturbado por la reflexión humana".

Criterios análogos manifestaba, hace pocos meses, el escritor José María García Escudero, en conversación privada en esta Real Academia, al terminar una de sus Sesiones Científicas. Comentando un artículo suyo, decía que la sociedad está orientada hacia un tener más insaciable y que padece una crisis de valores que no tiene más que un punto de destino: la deshumanización; la pérdida del hombre. Apuntaba un factor de esperanza al estimar que los valores no se habían perdido sino que estaban oscurecidos y dispersos, siendo susceptibles de recoger y darles unidad a través de una "ética civil", que podría tener cabida al introducir una enseñanza de "Educación en valores".

Resulta urgente que la sociedad aprenda a vivir en la rutilante civilización tecnológica que ha creado y que, por supuesto, aprenda a usarla. Se ha aprendido a consumir, pero no se ha aprendido a entender, porque no se ha promovido una educación para el desarrollo.

Quizá ha faltado perspectiva para meditar sobre el sistema creado, al tiempo que el conocimiento científico ha crecido distorsionado por falta de integración de los sistemas.

III. INTEGRACIÓN DE LAS ÁREAS DEL CONOCIMIENTO

Antes se hablaba de globalidad del conocimiento, tanto en lo geográfico como en las múltiples facetas del saber; pero hablar de globalidad no implica necesariamente la integración del conocimiento. El correcto conocimiento del Medio ha de hacerse a través de su concepción unitaria, en la que cada una de sus partes se interprete y valore integrada en la totalidad. El progreso de las Ciencias Naturales se ha hecho individualizando sus contenidos parciales, lo que ha facilitado su avance, pero también ha favorecido que muchas relaciones entre sí pasaran desapercibidas.

El fenómeno no es nuevo; el naturalista y geógrafo Von Humboldt escribió en 1808, "que en la gran cadena de causas-efectos, ninguna cosa ni ninguna actividad debe ser tomada aisladamente". Pero esta advertencia no se ha tenido en cuenta, o no se ha podido tener, porque

el discurrir de la Ciencia se ha parcializado, acotándose los campos de investigación y estudio, para lograr conocimientos cada vez más puntuales y con mayor profundidad.

Desde que se inició el descubrimiento del carácter cíclico de los elementos y de los compuestos que participan en los procesos vitales, el hombre ha intentado modificarlos, regularlos a su mejor conveniencia y, con frecuencia, acelerarlos. Vernadsky, un minerólogo ruso del primer tercio del siglo XX, ya percibió al hombre como autor y protagonista de una nueva era geológica, y puso de relieve que la Biosfera evoluciona en virtud de un nuevo fenómeno geológico de amplio alcance, que califica como "era antropológica del planeta", en la que la humanidad, consciente o inconscientemente, está modificando su estructura externa; es decir, la que soporta a la Biosfera.

La mayor difusión de su obra (Vernadsky, 1945) tuvo lugar el año de su muerte, 1945, al publicarse el trabajo "The Biosfera and Noosfera" en el que introduce el concepto de noosfera, después de haber manejado los de intelectosfera y sapienesfera. La palabra Noosfera procede del vocablo griego *noos,* (que significa entendimiento o razón), con lo que se propugnaba que la era antropológica del tiempo geológico debía inspirarse en la racionalidad, individual y colectiva, del ser humano, a cuyo través debería canalizarse la nueva Tecnología, que la humanidad iba adquiriendo.

El mismo término fue manejado, también, por el que fue discutido jesuita, el P. Teilhard de Chardin (Balandin, 1982), quién tras aceptar la evolución de la vida a partir de lo inanimado, concibe la intelectosfera como una envoltura pensante del planeta, que incluye la existencia del espíritu, del alma, junto a las relaciones causales mecanicistas.

Y aproximadamente por la misma fecha, tampoco andaba Ortega muy alejado de estas ideas al hacer notar que "la vida es siempre un proyecto anticipado de lo que ha de venir", con lo que destacaba el obligado continuismo de lo vital y la transcendencia de las acciones de hoy sobre los factores determinantes de la vida en el mañana.

El objetivo de la Ciencia es el conocimiento, pero en cuanto sea posible debe estar integrado en el conjunto al que pertenece, pues los

saberes parciales, una vez correlacionados entre sí, pueden presentar elementos contradictorios. Es decir, ante cualquier acción sobre el medio material, aun movida por la razón, hay que evaluar si, de forma no deseada, puede trascender sobre los comportamientos futuros.

Schrödinguer, el científico de la ecuación de onda, en un ciclo de conferencias pronunciado en 1951, tras reconocer las consecuencias prácticas derivadas de los adelantos científicos, denunciaba "que la era del maquinismo ha tenido la consecuencia de un crecimiento enorme de la cifra de población y, con ello, el volumen de sus necesidades ha aumentado a niveles imprevisibles y sin precedentes. La vida cotidiana está cada vez más necesitada de poner coto a tal situación". Nótese que esta frase la pronunció en 1951, sólo seis años después del fin de la Segunda Guerra Mundial, momento en que se vivían tan duramente sus consecuencias, que la advertencia pudo parecer que tenía más carga apocalíptica que de prudente previsión.

Y, también, por la misma época, Heisenberg, al aplicar los nuevos conceptos cuánticos a la interpretación de la realidad, en busca de un nuevo humanismo, acaba diciendo que la humanidad actual es como un barco tan sólidamente construido en hierro y acero que la brújula sólo responde a la masa del propio barco; le deja desnortado y no hace otra cosa que girar sobre sí mismo.

La integración de los conocimientos es básica e imprescindible cuando se trata de las Ciencias de la Naturaleza. La valoración holística del saber, discutida por algunos expertos, parece necesaria aunque no esté exenta de dificultades. El holismo es la concepción epistemológica de una realidad, según la cual ésta no puede nunca valorarse por la suma de sus elementos, sino dentro del sistema global en que se integra, regido por leyes comunes. La integración de los conocimientos sobre el Medio Natural ha de ser la primera etapa de su concepción holística. Quienes dudan de la validez de esta concepción del Medio pretenden limitarle a una mera descripción; pero si se pondera la situación que tiene el hombre en la Biosfera, y las necesidades derivadas de su desarrollo y nivel cultural, es forzoso dar a las partes que lo forman toda la importancia que tienen en el conjunto. Hacer un planteamiento más simplista es reducir el problema a la valoración de lo inmediato.

Por ello, no deja de sorprender que la UE haya tardado tanto en legislar sobre la base de esta línea. Baste indicar que hasta el mes de septiembre de 1996, la UE no promulgó la Directiva de Prevención y Control Integrados de la Contaminación" (96/61/CEE), en la que el tratamiento integrado se considera prioritario porque contribuye a avanzar hacia un equilibrio más sostenible entre la actividad humana y el desarrollo económico, por un lado, y los recursos y la capacidad de regeneración de la Naturaleza, por otro.

IV. EDUCACIÓN AMBIENTAL: RECURSO IMPRESCINDIBLE

En 1973, cuando la preocupación sobre los riesgos ambientales y las limitaciones de los recursos empezaba a calar en el sentimiento de algunos sectores de la población, apareció un libro titulado "El Nuevo Umbral", en el que se advertía a la Humanidad de la necesidad de una nueva ética que permitiera evaluar "a priori" la influencia que una determinada acción pudiera tener sobre la supervivencia de las especies. Se aludía a las "especies" en términos generales; no se refería expresamente a la humana, aunque, como es lógico, tampoco la excluía, y reclamaba **la formulación de una nueva ética**, que comprendiera a todas.

La referencia a las especies animales no hubiera tenido especial novedad. Muchos autores lo habían hecho desde la perspectiva del derecho de los animales. Incluso hay quién mantiene que en muchas cosas son semejantes al hombre al tener de común con éste una capacidad sensitiva (Hume, 1986). Pero en "El Nuevo Umbral" se generaliza a todas las especies, ya sean vegetales o animales, porque la desaparición de una especie causada por intervención del hombre es algo absolutamente distinto a que se deba a un proceso evolutivo debido a la transformación natural de su entorno. La intervención del hombre en el proceso (Díaz Pineda, 1991) "afecta a sistemas más complejos o supone la ruptura de ciertas relaciones clave".

Pero ¿cómo y dónde ha de formularse esa nueva ética? Pues no puede ser más que mediante una nueva educación adaptada a las situaciones emergentes. Un nuevo concepto educativo que ponga su acento

en el carácter y en las exigencias del entorno natural y de nuestro comportamiento en el mismo, y que sitúe las acciones humanas en sus correctos límites, para corregir lo que de deslumbrante y acomodaticio tiene una tecnología para la que parece que nada es imposible.

En este sentido no se puede olvidar que el Primer Informe al Club de Roma (1972) produjo una enorme alarma social y política, y pareció constituir el punto final de una civilización; en muy pocos meses se vendieron más de nueve millones de ejemplares. Sin embargo, el susto duró muy poco. La Técnica dio una respuesta rápida aflorando nuevos recursos, mejorando rendimientos en los procesos productivos y abaratando el transporte. Así, contra el pronóstico del Informe, se bajaron los precios de los recursos, se favoreció el consumo y se agravó el problema de los residuos.

Mediante la educación ha de conseguirse que conceptos como el altruismo, la nobleza o la trascendencia no estén en oposición con los de utilidad o pragmatismo. Llegar a una Sociedad en la que se valore lo intelectual, lo espiritual, sin que esto se refiera exclusivamente a lo religioso; en la que primen las ideas por encima de la posesión y disfrute de cosas que se malgastan. Hay conocer cuestiones básicas; por ejemplo, que cada de litro de gasolina quemado aporta a la atmósfera más de 2,6 kg de CO_2, que tardará mucho en volver a convertirse en biomasa y que contribuye al calentamiento del planeta. Si ese consumo ha sido innecesario se habrá cometido un dolo a la comunidad.

Las directrices educativas inmediatas deben facilitar que se haga una valoración positiva de la tecnología, que comience por distinguir que la diferencia entre peligro y riesgo es la misma que existe entre los conceptos de posibilidad y probabilidad. De éste modo, antes de implantar una determinada tecnología se deberán evaluar las implicaciones que su uso pueda acarrear en peligro y en riesgo, para después dar prioridad a las que traten de corregir deterioros previos y a las que compatibilicen elevar el nivel de vida con mantener la calidad del Medio.

El mismo Papa Juan Pablo II, en la Jornada Mundial por la Paz del 1.1.90, manifestaba que la explotación desordenada de los recursos y el deterioro de la calidad de vida eran fenómenos que amenazaban la paz,

"y que se necesitaba un sistema de gestión de recursos mejor coordinado a nivel internacional". El mandato del Génesis de *someted la Tierra* no da derecho al uso irresponsable de la Creación. Con motivo de su elección como Papa había afirmado en las Naciones Unidas que "el progreso de la Humanidad no sólo debe medirse por el de la Ciencia y la Tecnología sino, principalmente, por la primacía que se de a los valores espirituales".

Si la educación tiene mucho de perfeccionamiento y estímulo de los sentidos y de las facultades intelectuales de las personas, la educación ambiental ha de ampliar estos objetivos a las relaciones con el Medio Físico. La Ley Federal de USA de 1991 (Environmental Education Act) la define como un proceso educativo basado en la relación del individuo con el entorno natural y con el que él mismo se ha creado, que ha de tener en cuenta las relaciones entre demografía, contaminación, recursos y su conservación, transporte, tecnología, medio humano y ordenación territorial.

Se trata, pues, de desarrollar en el individuo la convicción de que, tanto aislado como en el seno del colectivo humano, su actividad personal es siempre significativa porque participa en la conservación o deterioro del Planeta, con independencia de que la suya propia, individualizada, pueda parecerle mínima frente a la de los 6.000 millones de seres que compartimos el Planeta.

Veinte años antes de la Ley Federal, la Conferencia sobre Educación y Medio Ambiente de la Organización de Estados Americanos ya se preocupaba del tema, reservando para la educación ambiental la facultad de reflexionar y la capacidad para formar juicios de valor sobre problemas ambientales dentro de un abanico conceptual que iba desde los aspectos políticos y económicos hasta los científicos y técnicos. Es decir, se recogían todas las actividades personales que pudieran ser agresivas para el Medio, si no se pone empeño en evitarlo.

Viene bien recordar aquí la aportación realizada por el inglés Lovelock en 1979, con la llamada hipótesis de Gaia. Según éste, Gaia es un supraorganismo que integra los sistemas animados e inanimados del Planeta con capacidad para mantenerle sano y para controlar el ambiente físico. Esta claro que no se trata de un ser sensible y que su control,

aunque inconsciente, es lo bastante operativo para haber mantenido, de forma automática, las condiciones de vida sobre el Planeta durante millones de años.

Sin embargo, la modificación de los ciclos geobioquímicos por parte del hombre, y especialmente el del dióxido de carbono, nos ha convertido en "una especie de virus que le infecta provocando un aumento de temperatura. Y lo mismo que un cuerpo combate la infección, Gaia dispone de respuestas para solucionar el problema" (Gribbin, 1991). El propio Lovelock decía en 1987 que "quien crea que Gaia nos cuidará está en un error, pues Gaia cuidará de sí misma y el procedimiento para lograr su propósito pudiera ser nuestra aniquilación".

De forma no exenta de frivolidad, la teoría fue considerada por muchos como un diletantismo de ciencia-ficción; pero esto no es exacto, ya que se trata de un estudio teórico riguroso, que hace trascender a la litosfera más allá de su condición de soporte de la biosfera para integrarla en los ciclos de los geoecosistemas.

La legislación, política o administrativa, señalará los caminos por donde deben, o no deben, discurrir las acciones de la colectividad, pero su eficacia estará condicionada por la valoración ética que cada persona tenga de sus propios actos, aunque pueda estimularse por los comportamientos colectivos, en especial los de las estructuras sociales más cualificadas del saber.

En la Sociedad las mayorías son las que conforman los hábitos y modos de comportamiento, aunque cada persona aporte algo. Sin embargo, son las minorías educadoras las que pueden crear los pensamientos y las ideas que, a la postre, son los responsables de aquellos, siempre que sepan convertirlos en lo que se conoce como "opinión pública". El fenómeno se acusa de manera más intensa cuando la Sociedad se encuentra en un proceso de cambio, como es el de éste momento, que va a desembocar en una nueva civilización.

La educación ambiental, que también podría llamarse educación para el desarrollo, es una exigencia democrática; es una exigencia de participación para la solidaridad. Es, en suma, una actividad personal, interdisciplinar y permanente, que desde una perspectiva global permite

analizar las relaciones del individuo con su entorno, y adoptar las correcciones que procedan.

En el aludido libro de Ulrich, "Factor 4", se propone un nuevo planteamiento para el desarrollo tecnológico: "Duplicar el bienestar con la mitad de los recursos", lo que no es utópico aunque no sea sencillo. Allí se citan casos de productividad energética, en el uso de materiales, en el transporte, y otros, algunos de los cuales ya se disfrutan, como son las videoconferencias o el correo electrónico. Se llega a la esperanzadora conclusión de que el desarrollo ecológicamente verdadero aún no ha empezado, siendo "imprescindible replantearse ciertas cuestiones fundamentales sobre lo que entendemos como buena vida". Pues bien, todo ello quedaba fuera de lo que ha sido el proceso educativo, por lo que habrá de incorporarse a la educación ambiental.

Tengo la profunda convicción de que la Ciencia y la Tecnología pueden incrementar las posibilidades de aprovechamiento de los recursos renovables, y que incluso se llegará a convertir en recurso muchos materiales que hoy no lo son. Quizá baste lograr una mayor disponibilidad energética, pero será decisivo crear un adecuado sustrato para ello; cada persona ha de tener una clara conciencia de las limitaciones de sus actos y de sus afanes.

La enseñanza de las Ciencias de la Naturaleza, es decir, del Conocimiento del Medio, debe vincularse con su conservación, hasta alcanzar al conocimiento y gestión de los recursos, a la valoración de los ciclos geobioquímicos (comenzando por el hidrológico), a la planificación del territorio y al análisis de las relaciones entre el Medio y las Sociedades que soporta. Deberán impartirse desde el nivel preescolar, avanzando progresivamente en las fuentes del conocimiento, con apelación continua a los tratamientos interdisciplinares. Después, a medida que se llega a los niveles educativos más elevados, habrá que incorporar grados de especialidad, que actualmente no escapan a ningún tipo de profesionales.

Esto no quiere decir que se olvide el campo de las Humanidades, que son fuente de cultura, y sólo la persona culta está capacitada para profundizar en un conocimiento polivalente. "Cuando los clásicos llamaron cultura al cultivo del talento, subrayaron el estrecho vínculo que

enlaza el perfeccionamiento intelectual con el de las facultades del espíritu y la vida interior" (Colomer, 1989).

Descubrir aptitudes y generar actitudes han sido siempre dos objetivos fundamentales en cualquier proceso educativo que refuerzan su valor en el caso de la educación ambiental, puesto que son el camino para superar el plano de lo individual y crear nuevas formas desarrollo.

Saber es necesario, pero no basta. Se requiere dotar a las personas de aptitudes analíticas, imaginativas y creadoras, que le capaciten para obtener y valorar la información y tomar las decisiones que se precisen. Las aptitudes son inherentes a las habilidades y características de la persona; la educación las intensifica y las orienta, hasta hacerlas formar parte de su idiosincrasia.

Pero generar actitudes es, como mínimo, tan importante como despertar aptitudes. Las actitudes se crean, son el verdadero fruto de una educación responsable, y el educador puede ayudar a su crecimiento en concordancia de fase con cuanto nos circunda. Las actitudes generadas en el proceso educativo han de promover el cambio de mentalidades previo al de las formas de comportamiento.

Las actitudes personales están, con frecuencia, vinculadas con la escala de valores que los individuos y las sociedades tengan establecida en cada momento histórico. En la actualidad, se habla demasiado de crisis de valores porque el actual criterio sobre lo "valorizable", tiende más a la indiscriminación que a la responsabilidad. Se ha convertido en valorable todo aquello que forma parte de un sentir mayoritario, aunque tal sentir no sea fruto de la reflexión, sino que está movido por quien tiene capacidad y medios para ello. "Valorar —decía Ortega (en su "Introducción a una estimativa")— es reconocer un valor residente en el objeto". El problema es que, en nuestra evolutiva Sociedad, junto a valores indiscutibles, como la libertad y la democracia, ha incorporado otros que puede que no lo sean.

Decía Racionero hace tres años (Tercera de ABC del 15-2-97) —de nuevo he de citar a éste autor— que el "tercer milenio necesita una trasvaloración de la civilización occidental en tres sentidos: El progreso de la ecología (el autor lo escribe con minúscula), la generalización del

ocio y la abolición de la guerra", añadiendo que "el mundo no es coto privado de la especie humana como ha creído la civilización occidental —sobre todo cuando esa especie es europea— y el sudor no es compatible con el avance cibernético". El pensamiento merece meditarse, pues si la primacía de lo ecológico es perentoria para el continuismo de lo vital en el Planeta, la generalización del ocio no lo es menos para adquirir la serenidad de juicio que aquella exige. Otra cosa distinta es la abolición de la guerra, como estamos comprobando casi a diario.

En todo caso, valores como el amor a los seres y a las cosas y el esfuerzo, han de ser fundamentales en la educación ambiental. Amar a las personas, significa comprenderlas, y requiere premisas semejantes a las que se precisan para amar al Medio. El arte de convivir entre personas se traslada en todos sus matices a la convivencia con el entorno y a adoptar estilos de vida compatibles con su conservación.

Esforzarse es virtud de difícil aceptación. Y, sin embargo, es básica para integrar los sistemas en los que la especie humana sea predominante. Esfuerzo, ilusión y transcendencia son los mejores antídotos para el descontento y desánimo, siempre demoledores en cualquier programa educativo.

Cuestiones tales como los derechos humanos, la educación para la cooperación y la pluricultura, también forman parte de los retos de una educación ambiental. La tecnología ha transformado al mundo, pero fijar el alcance de la misma requiere más colaboración que competición. Las posibilidades que se abren cada día, imponen nuevas exigencias para limitar su impacto sobre el Medio y sobre la Sociedad. La colaboración como vehículo de progreso, la solidaridad como instrumento de éste y la interdependencia como acción política, han de ser elementos complementarios con la integración de saberes en el conocimiento científico.

Educar para la cooperación significa capacitar a las personas para realizar, con otros, actuaciones integradas sobre un mismo objetivo, lo que les exigirá compartir resultados y beneficios; en contrapartida, se disminuirán los riesgos de trabajar con sistemas parcializados.

A los educadores hay que pedirles capacidad para objetivar situaciones y que las generaciones futuras se eduquen en la idea de un esfuerzo

colectivo. Y esto requiere despojarse de prejuicios, y una valoración aséptica de las situaciones.

La solidaridad hace más viable la cooperación, y puede ser el eslabón generacional dentro del tejido social y factor de cohesión entre los de diferente condición o cultura.

Valorar lo material es muy importante en la lucha contra la pobreza, pero sin exclusivismo, sin hacerlo excluyente del crecimiento de lo espiritual o afectivo, es decir de lo inmaterial. Cuando hoy se habla de "realización de la persona" se trata de un proyecto para su crecimiento individualizado, que suele adolecer de escasa participación de lo espiritual. Hace poco hablaba Laín (2000) de su colección de ensayos sobre *La Empresa de ser Hombre*, destacando que, aunque parezca redundancia, "la realidad que llamamos hombre existe en plenitud cuando un individuo de la especie humana se realiza plenamente como hombre haciendo de su vida una empresa personal", y en ello el medio que le rodea es fundamental, co-esencial, desde la fase embrionaria del ser. Los tradicionales valores de la familia, incluido el sentido de la disciplina, han perdido fuerza en último tercio del siglo XX. Dice Fogel (1999) que "la educación primaria, secundaria y universitaria, junto a las experiencias acumuladas durante la vida profesional y en otras actividades, enriquecen los recursos espirituales transmitidos durante los primeros años, pero la importancia de estas aportaciones depende de lo que se haya aprendido en el hogar familiar antes de asistir a la escuela".

El problema adquiere mayores dimensiones cuando se trata de jubilados y ancianos. En este estrato social la distribución de los recursos espirituales es tan desigual, que el eslabón generacional se hace excepcionalmente difícil. Según datos de la Oficina del Censo de USA, de 1997, sólo un 14% de la llamada tercera edad, alcanzó en su momento los estudios superiores; en el Reino Unido se han adoptado medidas ofreciendo un programa educativo, denominado Universidad de Tercera Edad, basado en que la educación es motivo de satisfacción personal, que amplía la capacidad para entender, comprender y objetivar el mundo que nos rodea y sus valores.

Pero estas ausencias existen también es estratos sociales más jóvenes, cuya corrección es aún más urgente si se quiere que no alcance a

sus descendientes. Para ello, habría que establecer un sistema de tutorías, con la doble opción de "in situ" o "a distancia", en las que podrían aprovecharse las personas jubiladas con el nivel cultural suficiente.

V. EPÍLOGO

Hace unos instantes se hacía mención de la interdependencia como acción política. Y quisiera hacer algún comentario más sobre la conveniencia de difundir este concepto en el ámbito internacional.

Puesto que la tecnología ha hecho del mundo una "aldea global", y la movilidad es una de sus características más específicas al haberse reducido la distancia a un factor económico, se ha impuesto la superación de los conceptos tradicionales de soberanía, para llegar a una supra-soberanía, de la que no puede deducirse más que un bien general, al facilitarse los contactos entre personas. Quizá se entienda que esto no es una cuestión de educación ni de ética, pero, no obstante, procede incorporarlo al inventario de nuevos valores para alertar del arraigo perturbador de criterios trasnochados.

En todo caso, de su general aceptación, ha de derivarse la conveniencia de separar las cuestiones ambientales y educacionales, entre otras, de la brega política diaria, convertidas en problema multinacional. Tanto la educación como los temas ambientales tienen un carácter transfronterizo y deben incluirse dentro de unas reglas de juego, corporativamente aceptadas, que incluyan a los países en desarrollo. Lógicamente, esto exige de los desarrollados un ejercicio de solidaridad, facilitándoles dinero y tecnología para que puedan participar en la tarea común de la conservación del Medio.

A nadie se le oculta que esto no es sencillo, aunque parezca lógico; pues forma parte de una nueva ética, que primero hay que entender y después aceptar y estructurar, si se quiere que la tecnología sea un instrumento para la búsqueda del bienestar social y no de desequilibrio.

Finalmente, y antes de terminar, quiero advertir del riesgo que tiene pasar de un acusado antropocentrismo, aún vigente, a un biocentrismo indiferenciado. Una cosa es promover la conservación de los valores

bioculturales y otra introducirse en el peligroso campo de la *ecología profunda* en el que se abandona el humanismo para abrazar un *biocentrismo igualitario.* Eso sería como si el hombre renunciara al uso de la razón; es decir, como si renunciara a ser hombre, lo cual, de hecho, sería peor que su propia desaparición como especie.

La ética ambiental y educación subsiguiente, tienen que estar presididas por la idea de que todo lo que la humanidad tiene, todo lo que posee, de la Tierra procede y a la Tierra ha de volver, pero de nosotros depende que su retorno se produzca en condiciones de reversibilidad y susceptible de ser reutilizado por las generaciones futuras.

El continuismo de la Naturaleza es una manifestación de su propia transcendencia, y para mantenerle es imprescindible que la humanidad haga un alto en su actual dinámica y, después de preguntarse a dónde vamos y de dónde venimos, adquiera clara conciencia de que nuestra temporalidad será sustituida por la de otros seres a quienes los actuales no tenemos derecho a privar de su capacidad para sobrevivir y para transcender. Pues no en vano decía Nietzsche que "la patria no es la tierra de nuestros antepasados, sino la de nuestros descendientes".

VI. BIBLIOGRAFÍA

(1) Balandin, R.K. (1982): "Hacia las cumbres del saber", pag 200; Edit.Mir. Moscu.

(2) Colomer, J.L (Dirigido por) (1989): "En Defensa de las Humanidades". Fundación Tomás Moro. Madrid.

(3) Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo (1988): "Nuestro Futuro Común". Editorial Alianza. Madrid.

(4) Díaz Pineda, F. (1991): "La Conservación del Medio Ambiente". En "Ética y Ecología", pag 129. J. Gafo. Edit. Universidad Pontificia de Comillas. Madrid.

(5) Fogel, R. W. (otoño 1999): "*Cuenta y Razón*". Pag 8-33.-

(6) García Barreno, P. (1992). "Debate Sanitario: Medicina Sociedad y Tecnología". Fundación BBV. Madrid

(7) Gribbin, J. (1991): "El efecto invernadero y Gaia". Edit. Pirámide. Madrid.

(8) Hume, D.(1986). Investigaciones sobre el Conocimiento Humano". pag 130.Edit. Alianza. Madrid.

(9) Laín. P. (2000): "La empresa de envejecer". *Eidon,* nº 3; pag. 8.

(10) Naciones Unidas (1997): "Evaluación Completa del Agua Dulce".

(11) Racionero, L. (1999): A.B.C. Tercera del 7.2.99. Madrid.
(12) Rey Pastor, J. (1951)."La ciencia y la Técnica en el Descubrimiento de América". Espasa-Calpe. Buenos Aires.
(13) Sánchez del Río, C. (1995): "La Ciencia ante el siglo XXI", pág 109. Centro de Estudios Ramón Areces, S.A. Madrid.
(14) Unión Europea. (1996): "Directiva 96/61/CEE. Prevención y Control Integrados de la Contaminación.
(15) Ulrich, E. y otros. (1998): "Factor 4: Duplicar el Bienestar con la mitad de los recursos".- Galaxia Gutemberg.-
(16) Vernadsky, V.I. (1945): "The Biosfera and Noosfera" *American Scientist*, 3; 8.

VII. Nuevas tecnologías para la gestión de residuos radiactivos

RAMÓN GAVELA GONZÁLEZ

Director de Ciencia y Tecnología de ENRESA

I. INTRODUCCIÓN

El descubrimiento de la fisión

En las Navidades de 1938 se descubrió la fisión nuclear en el Instituto Kaiser Wilheim de Berlín por los científicos Otto Han y Fritz Strassmann, tras varios años de experimentación mediante bombardeo de uranio con neutrones para producir nuevos elementos transuránicos a través de reacciones (n, β), como había intuido Enrico Fermi.

El descubrimiento anterior culminó uno de los más brillantes periodos de la historia de la física, iniciado por Henri Antoine Becquerel en 1896 con el descubrimiento de la radioactividad natural.

A él siguieron científicos como Pierre y Marie Curie, Nobeles en 1903 junto a Becquerel, por su contribución al descubrimiento y estudio de la radioactividad, Ernest Rutheford, Nobel en 1908, con sus estudios sobre la estructura del átomo, Niels Bohr, Nobel en 1922, con su aplicación cuántica al modelo de Rutherford, el matrimonio Juliot-Curie, Nobeles en 1935, con su descubrimiento de la radioactividad artificial, James Chadwick, Nobel en 1925, con su descubrimiento del neutrón en 1932, Enrico Fermi, Nobel en 1938, con sus estudios sobre la interacción de los neutrones con la materia.

Todos ellos y varios más, sin olvidar a Albert Einstein, han pasado a la historia por sus importantes hallazgos para desentrañar la estructura del átomo.

La reacción de fisión tiene la siguiente formulación general,

$$_{92}U^{235} + {}_{0}n^{1} \rightarrow PF_1 + PF_2 + 2.4\,n + 200\,Mev$$

y en ella se producen dos fragmentos de fisión con una distribución estadística que cubre prácticamente todo el espectro de la Tabla Periódica, como puede verse en la Fig. 1.

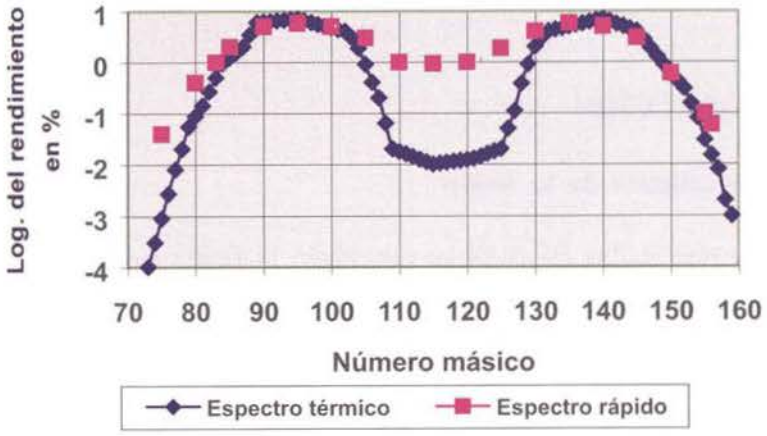


Figura 1. Rendimiento de fisión del U-235

A lo largo de 1939 tuvo lugar una intensa actividad en todo el mundo para estudiar teórica y experimentalmente la nueva reacción nuclear, poniendo de manifiesto sus tres propiedades fundamentales:

— Liberación de energía en gran cantidad, asociada a una pérdida de masa de aproximadamente un 0,1%. Las consideraciones teóricas condujeron desde el principio a un valor de unos 200 Mev/fisión, corroborado posteriormente por la experiencia.

— Generación de productos radiactivos como consecuencia de la escisión del núcleo de uranio en dos radionucleidos, de vida más corta. Estos radionucleidos dan origen a cadenas de desintegración que contienen una media de cinco desintegraciones conse-

cutivas. Se produce así una amplificación de la radiactividad natural, de importantes repercusiones de carácter radiobiológico.

— Liberación de neutrones, capaces de mantener la reacción en cadena.

Inmediatamente se inició una carrera para buscar aplicaciones al nuevo descubrimiento, destacando la obtención del primer reactor de fisión, por el Premio Nobel Enrico Fermi el 2 de diciembre de 1942, en una sala de squash situada debajo de las gradas del Stagg Field Stadium de la Universidad de Chicago. La utilización de grafito como moderador y la genialidad de Fermi fueron elementos clave para adelantarse a otros investigadores que probaron con otras configuraciones.

A partir de entonces se aceleraron las investigaciones, por un lado en la desafortunada línea de Defensa que condujo a la bomba atómica y, por otro, en el uso pacífico de la energía nuclear, impulsado por la iniciativa de Eisenhower de «Atomos para la paz» en 1953.

El desarrollo de la energía nuclear

El esplendor de la física nuclear y el deseo de buscar una energía inagotable que evitara la dependencia del petróleo favoreció el rápido crecimiento de la energía nuclear en los años 60 y 70. El resultado se ilustra en la Tabla I en la que figura la potencia nuclear instalada en el mundo, demostrando que la energía nuclear contribuye de forma importante a la generación de energía eléctrica.

Existen en todo el mundo un total de 436 Centrales Nucleares (CCNN) en operación que producen en torno al 18% de toda la electricidad consumida, destacando Estados Unidos, Francia y Japón por su elevado número de instalaciones.

TABLA I

Energía Nuclear en el mundo (1999)

	N.º CCN en operación	*N.º CCN en construcción*	*Energía generada (Twhe)*	*% electricidad nuclear*
USA	104		720	19,5
Francia	59		375	75
Japón	53	4	307	36
Alemania	20		160	31
Rusia	29	4	111	14
Corea del Sur	16	4	98	43
Reino Unido	35		91	29
Canadá	14		70	13
Suecia	11		70	47
Ucrania	16	4	67	44
España	9		56	31
China + Taiwan	9	9	51	3,7
Bélgica	7		47	58
Suiza	5		24	36
Finlandia	4		22	33
Resto	45	13	131	8
TOTAL	**436**	**38**	**2.400**	**18**

La energía nuclear en España

España no fue ajena a la tendencia citada, poniendo en marcha su primera central nuclear en 1969 [José Cabrera, en Zorita (Guadalajara)], a la que siguió Sta Mª de Garoña en 1971 y Vandellós I en 1972. Posteriormente se construyeron las centrales de 2ª y 3ª generación hasta alcanzar una potencia instalada de 8250 Mwe, hoy reducidos a 7750 Mwe tras la parada de Vandellós I en 1990. (Ver tabla II).

El total de combustible irradiado que se producirá en el país, para una vida supuesta de las CCNN de 40 años, será de unas 6750 toneladas dentro de un total de 19680 elementos combustibles, de los cuales 8124 serán de tipo BWR (Boiling Water Reactor) y 11556 de tipo PWR (Pressurized Water Reactor).

TABLA II.

Centrales Nucleares españolas

CCNN	*Tipo*	*Año de entrada en servicio*	*Potencia Mwe*	*Combustible irradiadi (40 a)*	
				tU	*Número elementos combustibles*
José Cabrera	PWR	1969	160	117	441
Sta. Mª de Garoña	BWR	1971	466	421	2.364
Almaraz I	PWR	1981	974	833	1.806
Almaraz II	PWR	1983	983	859	1.861
Ascó I	PWR	1983	979	842	1.825
Ascó II	PWR	1985	1.015	833	1.805
Cofrentes	BWR	1984	1.025	1071	5.760
Vandellós II	PWR	1987	1.082	873	1.893
Trillo	PWR	1988	1.066	901	1.925
		TOTAL	**7.750**	**6.750**	**19.680**

II. EFECTOS DEL QUEMADO EN EL COMBUSTIBLE

Radionucleidos existentes en el combustible quemado

En un elemento combustible fresco de una central nuclear de agua ligera el único actínido existente es el uranio, estando presentes los isótopos naturales de este elemento, aunque en distinta proporción a la existente en la naturaleza, debido al proceso de enriquecimiento. Existen además otros elementos presentes en la molécula del combustible (oxígeno) y en los elementos estructurales (vainas, rejillas y cabezales), además de los gases que rellenan el huelgo.

Típicamente, un elemento combustible de un reactor PWR, con un enriquecimiento de 4.1%, tiene la siguiente composición:

TABLA III.

Componentes del elemento combustible PWR

Componente	*Kg*
U-234	0.143
U-235	18.918
U-238	442.349
O-16	62.069
Impurezas en UO_2	0.164
Inconel-718	14.875
Inoxidable-304	14.875
Zircaloy-4	115.370

Una vez introducido el elemento combustible en el reactor, comienzan a aparecer nuevas especies radiactivas, debido a los procesos nucleares producidos por los neutrones, unidos a los procesos de decaimiento radiactivo.

Una de las reacciones nucleares responsable de la generación de nuevos radionucleidos y del consiguiente aumento de la radiotoxicidad es la captura radiactiva (n, γ), en la que se produce un isótopo del elemento irradiado con una masa atómica superior a la de éste en una unidad, el cual puede ser estable o radiactivo.

Algunos de los isótopos transuránidos que pueden obtenerse con esta reacción se muestran en la Fig. 2, en la que se indican las tres formas de inestabilidad: decaimiento α, decaimiento β y fisión espontánea. Ningún elemento de número atómico superior a 92 es estable, razón por la cual no se encuentra en la naturaleza, salvo en situaciones excepcionales como las que, por ejemplo, se produjeron en el reactor natural de Oklo (Gabón).

En total, puede decirse que el número de actínidos que pueden existir en un elemento combustible quemado está entre 50 y 60. No obstan-

te, los radionucleidos de masa mayor que la del Cm-244 están presentes en cantidades tan pequeñas que pueden despreciarse. En la Fig. 2 se presentan los actínidos más significativos con sus propiedades físicas más relevantes. (Las secciones eficaces corresponden al espectro neutrónico de un reactor PWR con enriquecimiento inicial de 4,1% y grado de quemado de 40.000 Mwd/tU con un ciclo de tres recargas).

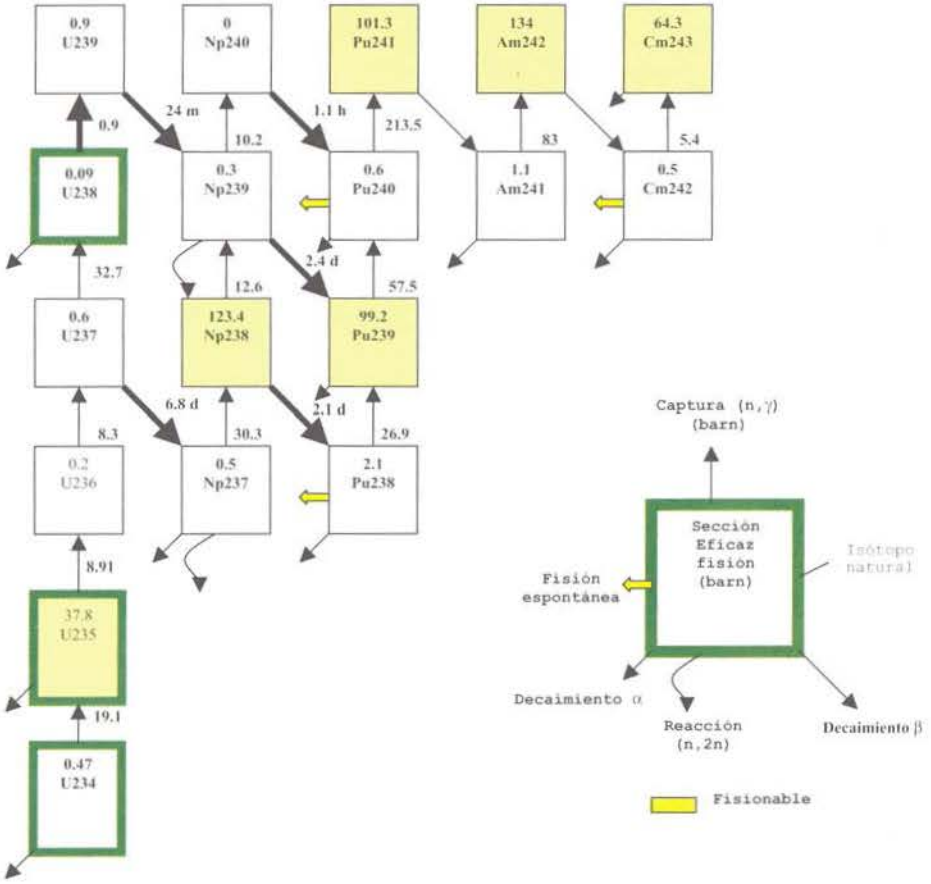


Figura 2.

Un segundo tipo de reacción neutrónica es la fisión, en la que se producen dos radionucleidos de menor masa, acompañada de radiación γ y desprendimiento de neutrones rápidos y energía. Algunos actínidos fisionan con neutrones de baja energía, como el U-233, U-235 y el Pu-239; casi todos fisionan con neutrones rápidos.

Los productos de fisión son ricos en neutrones, por lo que normalmente son inestables, con tendencia a emitir partículas β.

Existen varios cientos de productos de fisión diferentes, que producen una alta radiactividad y calor, alcanzando este último el valor del 7% de la potencia nominal tras la parada del reactor, aunque decae muy rápidamente.

Otra fuente de radiactividad es la fisión espontánea de algunos actínidos, que hace en ocasiones problemático el reproceso y fabricación de elementos combustibles a partir de material fisil reciclado.

Los denominados productos de activación neutrónica, formados mediante reacciones (n, γ), se forman en los materiales no combustibles, tales como vainas, rejillas, cabezales, etc.

El conjunto de todos los radionucleidos anteriores constituye el inventario de radiotoxicidad del elemento combustible quemado, que debe gestionarse de forma que no se produzca daño al ser humano y su medio ambiente. La composición depende del contenido del elemento combustible fresco, de la historia de irradiación en el núcleo, del espectro y flujo neutrónico y del tiempo transcurrido tras la extracción del reactor.

La ecuación diferencial que define la velocidad de crecimiento de cualquier radionuleido i, suponiendo un solo grupo de neutrones en el reactor, es:

$$\frac{dNi}{dt} = -(\lambda_i + \phi\sigma_{ai})N_i + \sum_{j=1}^{n} \lambda_{ji} N_j + \sum_{k=1}^{m} \eta_{ik}\phi\sigma_{fk} N_k \qquad (1)$$

$N_{i,j,k}$ = Nº de átomos del radionucleido i, j, k.
λ_i = Constante de desintegración del radionucleido i.
ϕ = Flujo neutrónico, n/cm^2/s.
λ_{ji} = Constante de desintegración del radionucleido j que produce el radionucleido i.

η_{ik} = Rendimiento en proporción unitaria del radionucleido i en la fisión del radionucleido k.

σ_{ai} = Sección eficaz microscópica promediada de absorción del radionucleido i. Igual a la suma de las secciones de captura y fisión ($\sigma_{ci}+\sigma_{fi}$).

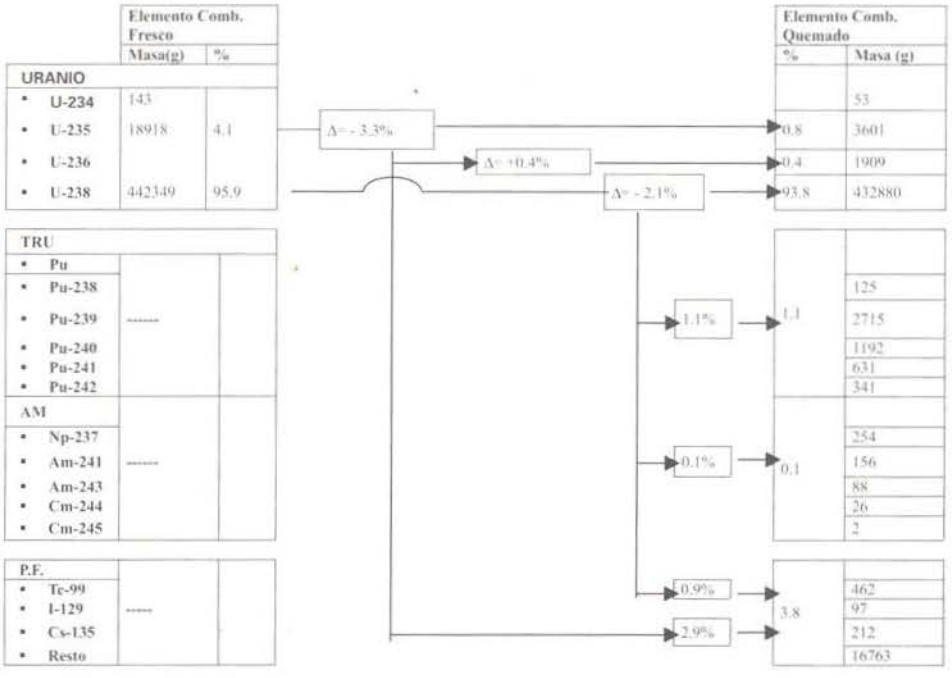
σ_{fk} = Sección eficaz microscópica promediada de fisión del radionucleido k.

m, n = Indices que cubren todos los casos posibles.

La Tabla IV, presenta las cantidades de algunos radionucleidos de interés en el combustible quemado de un reactor PWR, tras 4 años de enfriamiento.

TABLA IV

Transformaciones en el combustible de un PWR con un quemado de 41200 Mwd/tU tras 4 años de enfriamiento



Como se ha dicho anteriormente la generación de productos de fisión, plutonio y actínidos minoritarios al irradiarse el combustible nuclear, supone una importante amplificación de la radiactividad del uranio natural, como puede verse en la Fig. 3, en la que se presenta la actividad de un elemento combustible tipo PWR en función del tiempo.

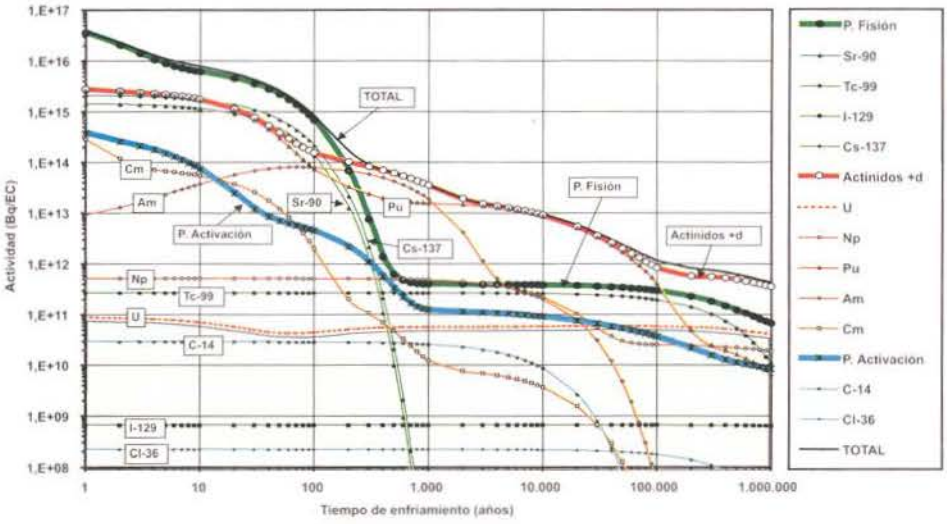


Figura 3.

Tiene mayor significación a efectos de gestión de residuos hablar de la radiotoxicidad por ingestión, pues esta magnitud representa el efecto radiobiológico sobre los seres humanos al representar la energía depositada sobre el cuerpo, considerando la cinética de cada radioelemento y la ponderación de los efectos que produce en cada órgano. La magnitud en este caso es el Sv, con unidades de J/kg.

En términos de radiotoxicidad por ingestión la Fig.4 presenta su valor para un elemento combustible PWR, ilustrando la importancia de los radionucleidos más significativos. En este caso se incluye la radiotoxicidad de los descendientes en el radionucleido original, lo que ilustra cuál sería el efecto de eliminar dicho radionucleidos inicialmente.

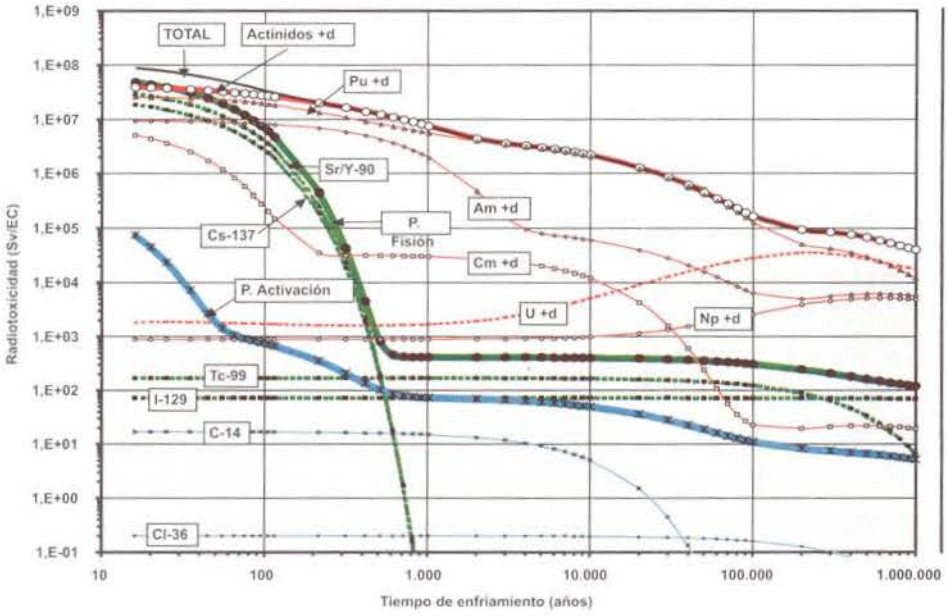


Figura 4.

De las figuras anteriores se desprenden los siguientes comentarios:

— Los productos de fisión, en particular el Cs-137 y Sr-90, contribuyen mayoritariamente a la radiotoxicidad potencial en los primeros años. Estos radionucleidos aportan una cantidad importante de calor en dicho periodo.

— El Pu es el principal contribuyente a la radiotoxicidad potencial a largo plazo (50 a 600.000 años). Le sigue el Am, el Np y el Cm, siendo este último más significativo que el Np hasta los 30000 años. Es de destacar que la radiotoxicidad del U inicial supera a la del Np y supone la mayor aportación a partir de 500.000 años.

III. OPCIONES PARA EL CICLO DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR

El ciclo original

En los años 60, cuando la energía nuclear comercial empezaba a florecer, el combustible nuclear tenía un ciclo bien definido y aceptado a nivel internacional, basado en el reproceso y en la esperanza de desarrollo de los reactores rápidos reproductores con los que se conseguiría producir Pu a partir de U-238 y quemar prácticamente todo el Pu en sucesivos ciclos. Ver Fig. 5.

El aprovechamiento energético del Pu no se discutía y nadie dudaba de la capacidad tecnológica para resolver la gestión de los residuos radiactivos, aunque no se hubieran abordado gran parte de los desarrollos necesarios.

El año 1979, en el que el presidente Jimmy Carter decide abandonar el reproceso por razones de control del material estratégico, supuso un cambio radical en la filosofía anterior. A esta decisión han seguido otras de abandono progresivo del desarrollo de reactores rápidos, a las que se ha ido sumando un cambio sustancial en la sociedad que se ha hecho cada vez más sensible a la problemática medioambiental y en particular, a la asociada a la energía nuclear.

Los ciclos actuales

Las circunstancias anteriores han conducido a dos opciones que actualmente se practican para la gestión del combustible: ciclo abierto y ciclo cerrado convencional con reciclado del U y Pu. Ver Fig. 5.

En el primer caso el elemento combustible irradiado en los reactores LWR (Reactores de agua ligera; incluye PWR y BWR) es gestionado como residuo mediante almacenamiento temporal en superficie y su posterior emplazamiento definitivo en un Almacenamiento Geológico Profundo (AGP). En esta opción están EEUU, Suecia y España, y de forma parcial prácticamente el resto de los países con energía nuclear.

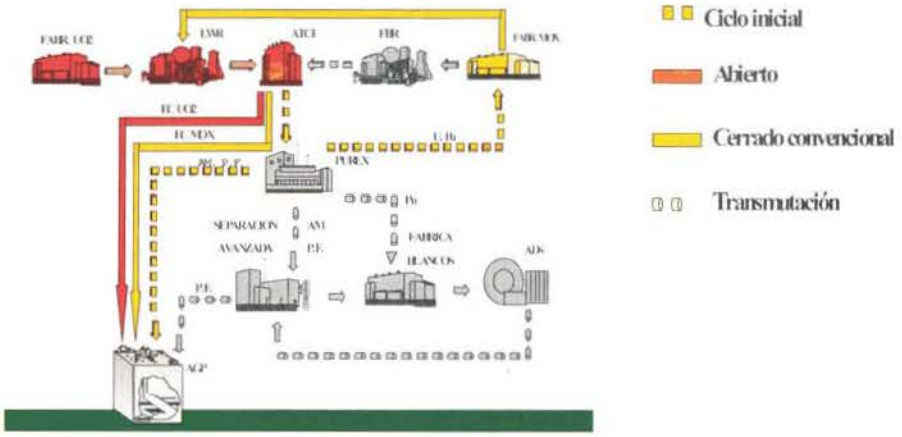


Figura 5.

En el ciclo cerrado, el combustible tras su irradiación en el reactor y almacenamiento temporal en piscinas (para su enfriamiento previo al transporte y reproceso), es enviado a una planta de reproceso (La Hague en Francia o Sellafield en el Reino Unido) en la que se extrae el Pu y U para su reciclado posterior en LWR en forma de elementos MOX (óxidos mixtos de U y Pu) y UO_2 con uranio reprocesado. En el reproceso se obtienen unos residuos que básicamente pueden estimarse, por cada tonelada, en 0.15m^3 de vidrio conteniendo los productos de fisión y actínidos minoritarios, además de las pérdidas de Pu y U, y 0.30 m^3 de residuos sólidos de media actividad y larga vida compactados en los que están incluidos los trozos de vaina y estructuras del elemento combustible y otros residuos tecnológicos del proceso.

Estos residuos son almacenados temporalmente en superficie para su posterior disposición en un AGP. En la opción de ciclo cerrado están Francia, Japón, Alemania, Bélgica y Suiza, aunque la mayoría de ellos están contemplando la opción de ciclo abierto para parte del combustible, dado el alto inventario de Pu.

En los reactores LWR en los que se decide quemar MOX, debe realizarse una pequeña adaptación de sus sistemas de control de reactividad, supuesto que sólo se cargue un tercio del núcleo con este tipo de elementos. Mayor cantidad de MOX necesitaría mayores reformas.

Por otra parte, al quemar el MOX se producen mayores cantidades de actínidos de alto número atómico, lo que aumenta la radiotoxicidad específica de estos elementos combustibles, además de deteriorar la cantidad relativa de isótopos fisionables. Por ello, no está previsto el reciclado más allá de 2 ó 3 veces, no habiéndose abordado en la actualidad más de una vez.

El MOX irradiado, una vez no se desee reciclar más, debe gestionarse como residuo en la misma forma prevista para el ciclo abierto.

Cualquiera de las dos opciones anteriores presenta ventajas e inconvenientes en el campo energético y de gestión de residuos, debiendo escogerse una u otra, en función de criterios estratégicos, políticos, técnicos y económicos de cada país.

Desde el punto de vista del aprovechamiento de recursos energéticos, la opción de ciclo cerrado es más ventajosa, sin embargo, presenta el gran inconveniente de su alto coste. En cuanto a la radiotoxicidad potencial, aunque algo menor en el ciclo cerrado, es del mismo orden de magnitud en ambos ciclos. El volumen total de residuos es también muy similar, aunque es más reducido el de residuos de alta para el ciclo cerrado.

Tabla V.

Comparación entre ciclo abierto y cerrado convencional con un sólo reciclado

	Ciclo cerrado respecto a abierto
Ahorro de uranio natural	20%
Radiotoxicidad potencial	1/2
Radiotoxicidad residual	1/4 (*)
Volumen de residuos de alta	1/2
Volumen residuos larga vida	Similar
Coste 2ª parte del ciclo	x 3

(*) No se incluye el I-129 ni C-14 en el cálculo para ciclo cerrado.

IV. GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE ALTA ACTIVIDAD

Tanto el combustible irradiado, en ciclo abierto, como los residuos de alta actividad generados en el reproceso, en ciclo cerrado convencional, necesitan una gestión definitiva, tras un almacenamiento temporal en superficie.

Se viene pensando en muchas soluciones para ello desde hace varias décadas, siendo un acuerdo mayoritario que el Almacenamiento Geológico Profundo (AGP) es la más adecuada y satisface razonablemente todos los requisitos éticos y medioambientales con las generaciones actual y futuras.

Recientemente se está reconsiderando la transmutación como una alternativa complementaria que podría reducir notablemente el inventario y volumen de residuos a almacenar en profundidad.

La transmutación pretende disminuir la radiotoxicidad a largo plazo transformando los radionucleidos más críticos mediante bombardeo neutrónico en un reactor nuclear, previa separación de los mismos. Ello daría lugar a un nuevo ciclo como se indica en la Fig. 5.

Aunque queda mucho trabajo por realizar para demostrar la viabilidad de la transmutación y ésta vaya asociada a una continuación de la energía nuclear, hoy de difícil predicción, se están poniendo en marcha importantes programas de I+D sobre esta nueva tecnología, motivados fundamentalmente por:

— Las dificultades de aceptación pública del AGP.

— El progreso de la energía nuclear que permite concebir nuevos sistemas de reactores nucleares subcríticos alimentados por aceleradores de partículas.

— La necesidad de eliminar gran parte del material estratégico.

¿Qué es el Almacenamiento Geológico Profundo (AGP)?

El AGP es una solución definitiva para la gestión de los Residuos Radiactivos de Alta Actividad (RRAA) que consiste en ubicar dichos

residuos, adecuadamente encapsulados, en unas galerías profundas, entre 300 y 500m. Ver Figura 6.

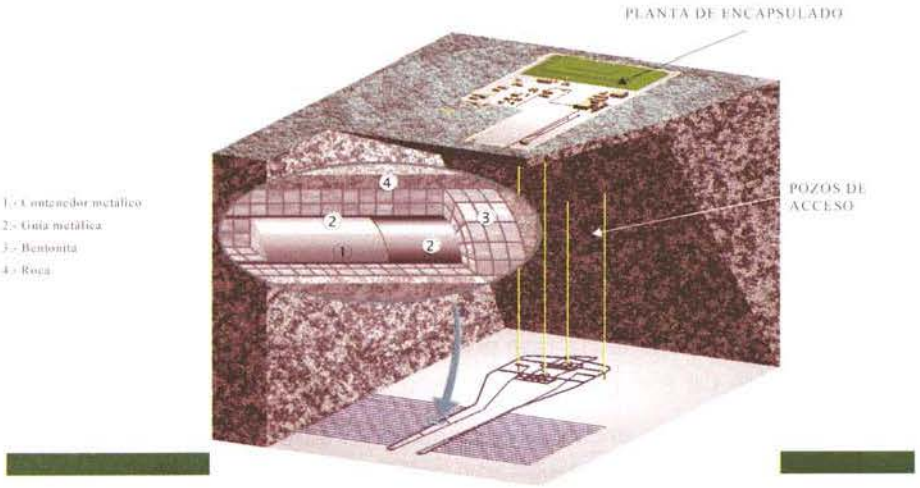


Figura 6.

El concepto está basado en la interposición de múltiples barreras en serie para garantizar que no se producen daños al ser humano ni a su medio ambiente durante el periodo de radiotoxicidad de los residuos (centenas de miles de años).

En el funcionamiento de un AGP se utilizan los siguientes principios:

— **Confinamiento** en una cápsula metálica hasta que se elimine gran parte de la potencia térmica y los radionucleidos más activos de corta vida. Este confinamiento se garantiza por un periodo de más de 1000 años de vida.

— **Retardo y Retención** en barreras artificiales de bentonita. El transporte de los radionucleidos se realiza muy lentamente por difusión, reteniéndose gran parte en la matriz por interacción geoquímica. Con ello se consiguen periodos de cientos de

miles de años para la liberación de los radioelementos más radiotóxicos.

— **Retardo y Retención** en la barrera geológica adecuadamente seleccionada para garantizar corrientes adventivas de agua muy pequeñas o nulas (del orden de décimas de litro por año y cápsula), así como la necesaria estabilidad hidrogeológica, morfológica y tectónica durante el tiempo necesario para que decaigan los radionucleidos (> 10^6 años). Con la barrera geológica se retrasa notablemente la llegada de la radiotoxicidad a la biosfera (entre decenas de miles y centenas de miles de años).

  En cuanto a la estabilidad de la barrera geológica y el aparentemente gran tiempo en que debe mantenerse, es conveniente recalcar que con el conocimiento actual, un millón de años es un tiempo relativamente pequeño en la escala del tiempo geológico, pudiendo garantizarse razonablemente mediante estudios científicos.

— **Dilución** en la biosfera, en las corrientes de agua superficial. Uno de los problemas que plantea la modelización biosférica es el desconocimiento de cómo será este ámbito y las costumbres humanas en un tiempo tan lejano. Por ello se están desarrollando biosferas de referencia para abordar los estudios de seguridad.

Para garantizar el adecuado funcionamiento del AGP se viene dedicando desde hace 2 décadas un importante esfuerzo de I+D por parte de los países con energía nuclear, algunos de los cuales han construido laboratorios subterráneos experimentales. Asimismo, la UE, a través de sus Programas Marco, y las instituciones de la ONU (AIEA) y OCDE (NEA) han dedicado un gran esfuerzo de armonización, coordinación y ayuda financiera.

Los Programas de desarrollo del AGP, además de basarse en los Planes de I+D citados, se apoyan en la continua realización de ejercicios de evaluación de la seguridad a los que se van incorporando progresivamente los resultados de la investigación, incrementando así la consistencia y fiabilidad del concepto. (Ver Fig. 7)

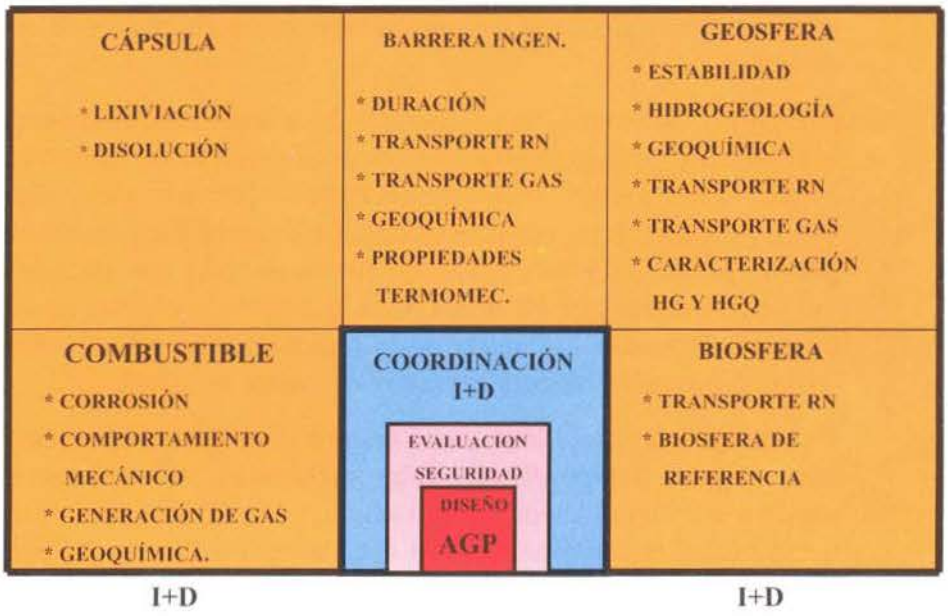


Figura 7.

En la evaluación de la seguridad, al hacer una análisis conservador de todos los mecanismos de migración y transporte de los radionucleidos, se obtienen estimaciones de los potenciales impactos radiológicos del sistema sobre el ser humano que indican que los mayores valores están órdenes de magnitud por debajo de las dosis de radiactividad naturales actuales así como de los máximos valores permitidos en la reglamentación actual para el público en general. En la Fig. 8 se muestra el resultado del ejercicio de evaluación de la seguridad realizado por ENRESA en 1997 para un emplazamiento genérico en granito.

¿QUÉ ES LA TRANSMUTACIÓN?

La transmutación es la conversión de radionúclidos de larga vida en otros de corta vida o estables por medio de reacciones nucleares. En esencia, es la «piedra filosofal» tan buscada en la Edad Media, aunque sea para distinto fin.

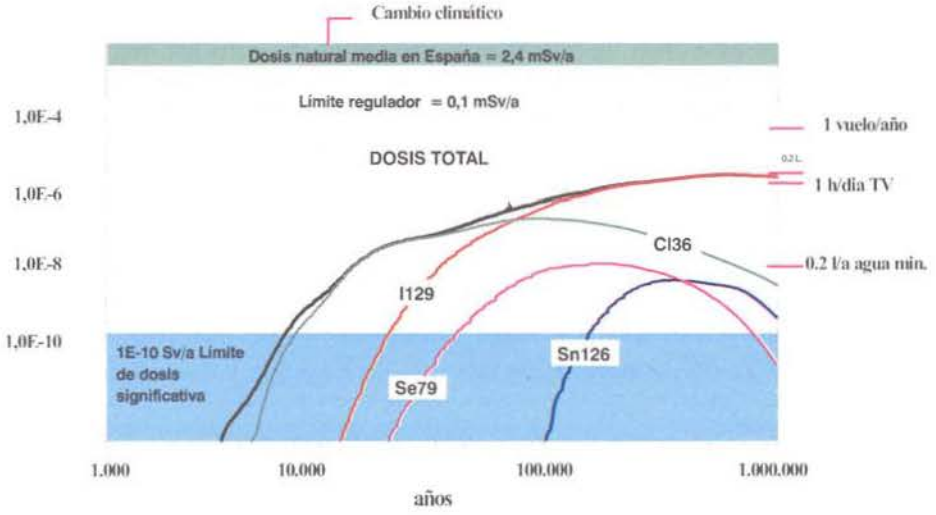


Figura 8.

El objetivo es disminuir la radiotoxicidad potencial de los RRAA cuyo orden de magnitud quedó definido en la Fig. 4 En ella se observa que a largo plazo la radiotoxicidad potencial viene condicionada por los actínidos (Pu, Np, Am, Cm) y por algunos productos de fisión (Tc-99,I-129). Se trataría por tanto, de convertir estos radionúclidos en otros más estables, disminuyendo así de forma importante el riesgo frente a improbables sucesos como las intrusiones humanas o fenómenos volcánicos que pudieran sacar a la superficie los residuos. Se considera además, que la transmutación de estos radionucleidos ayudaría a conseguir la aceptación social del AGP.

Para dar una idea de la importancia que tendría eliminar los elementos más radiotóxicos (el mayor es el Pu), la Fig. 9 indica la importancia relativa de los principales radionucleidos, incluida su descendencia.

Conviene tener en cuenta que en un escenario de evolución normal de un AGP, aún considerando los sucesos que razonablemente puedan extrapolarse en el largo plazo, el riesgo viene condicionado por la radiotoxicidad residual, que es la radiotoxicidad calculada para la población crítica

considerando los procesos de migración y retención en las distintas barreras (Fig. 8). En este caso, la radiotoxicidad estimada para los actínidos es muy baja, ya que éstos, en condiciones reductoras, quedan prácticamente retenidos en un entorno muy pequeño del lugar en que se depositan; este comportamiento que se ha comprobado en ensayos de laboratorio viene corroborado por diferentes estudios de análogos naturales, como por ejemplo el reactor natural de Oklo (Gabón), minas de uranio, etc.

Por tanto, la radiotoxicidad residual a largo plazo viene condicionada por los radionucleidos que son menos retenidos en las barreras, como el Cl-36, I-129 y Tc-99, dependiendo del tipo de litología y diseño del AGP.

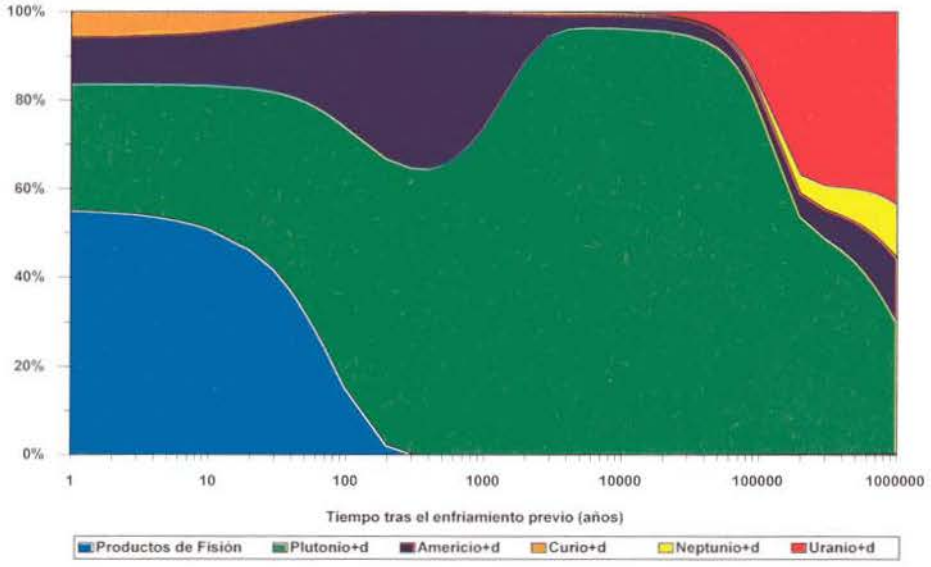


Figura 9.

Separación

La transmutación necesita un proceso de separación previa de los radionucleidos a convertir, lo que implica reprocesos del combustible de complejidad creciente con el número de radionucleidos involucrados. Si sólo se desea transmutar el Pu y U basta realizar el reproceso PUREX de separación por extracción con TBP (Tributil Fosfato), ya comercial en las plantas de La Hague (Francia) y Sellafield (Reino Unido).

En la actualidad se está realizando un esfuerzo importante de investigación en reprocesos avanzados, bien de vía húmeda (CEA, Francia), como de tipo pirometalúrgico (Argonne, EEUU). En estos reprocesos se pretende prioritariamente la separación de los actínidos minoritarios y en la medida de lo posible, la separación de los productos de fisión más críticos.

Todavía no se puede predecir cual de los reprocesos avanzados, húmedos o secos, tendrá viabilidad, si es que llegan a comercializarse. En todo caso, conviene tener en cuenta que, aún en el mejor de los casos, los rendimientos de separación no alcanzarán los elevados valores necesarios para eliminar la necesidad del AGP, aunque sí podrían conducir a reducciones, que pueden ser importantes, del volumen y actividad de los RRAA a almacenar.

La Fig. 10 presenta de forma esquemática los procesos de separación acuosa en que está trabajando Francia; por un lado, mejorando el proceso PUREX para extraer el Np, I y Tc y, por otro, desarrollando nuevos procesos para separar los actínidos Am y Cm de los lantánidos (Ln y productos de fisión (P.F.).

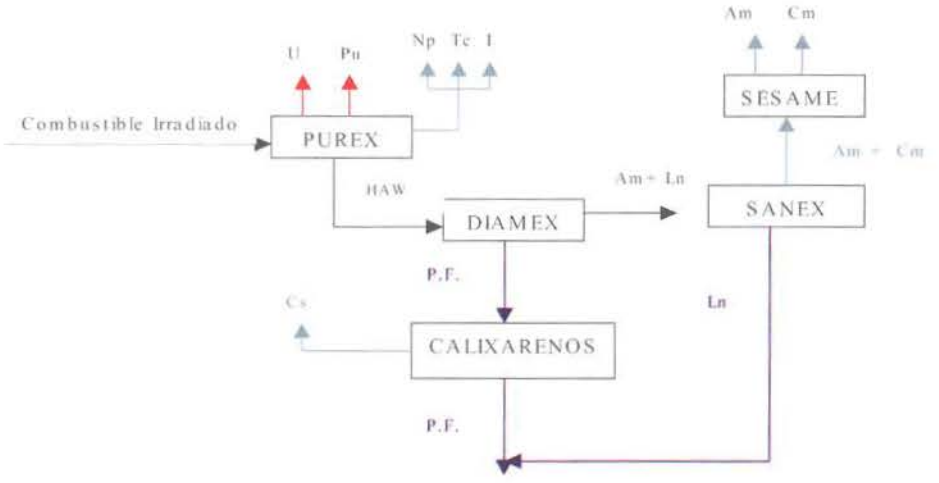


Figura 10.

En cuanto a los procesos pirometalúrgicos, puede verse en la Fig. 11 un diagrama general, en el que se desataca el proceso de disolución en sales fundidas (cloruros o fluoruros), tras la conversión del residuo en halogenuros, de la que pueden separarse los radionucleidos por diferentes procedimientos (electrolísis, extracción líquido/líquido, precipitación).

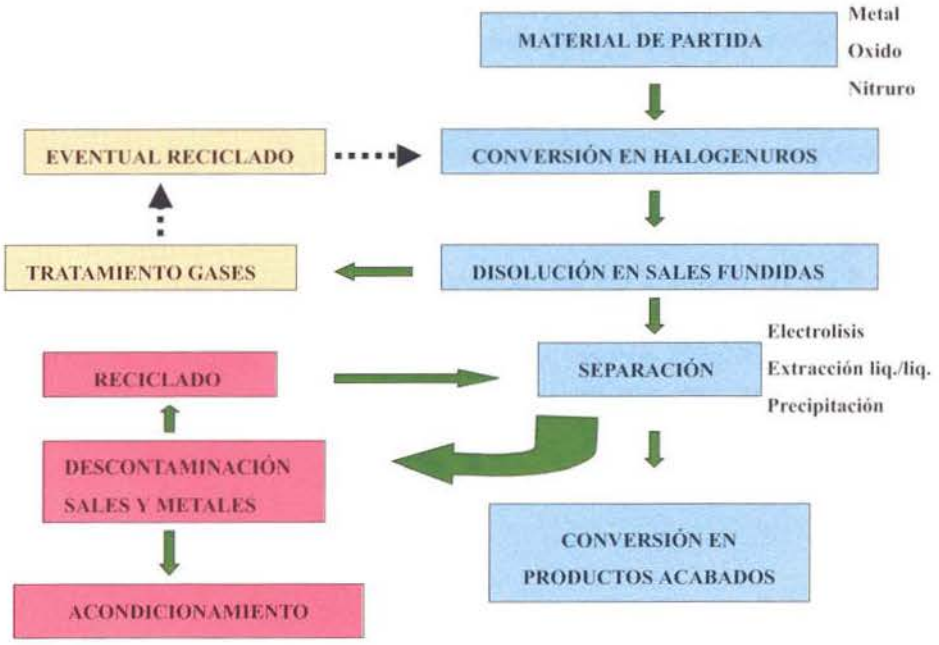


Figura 11.

Transmutación

Los procesos que se conciben para la transmutación son reacciones producidas al bombardear el núcleo con neutrones en el interior de un reactor nuclear.

En el caso de los actínidos, la reacción de interés es la fisión en la que se producen fragmentos que aunque son de mayor radioactividad tienen menor vida. No obstante, esta reacción compite con la de captura

neutrónica, en la que se forma un actínido de mayor número atómico, tras la emisión de una partícula β, normalmente igual o más radiotóxico; por ejemplo:

$$^{237}Np_{93} + {}^{1}n_{0} \rightarrow {}^{238}Np_{93} \xrightarrow{\beta\,(2.1\,d)} {}^{238}Pu_{94}$$

Conviene, por tanto, mantener la relación entre las secciones eficaces de captura y fisión lo menor posible, lo que se consigue mejor en un reactor de espectro rápido, y ello aunque en dicho espectro la sección eficaz de fisión es más pequeña.

Para los productos de fisión, en particular Tc-99 e I-129, la reacción de interés es la captura neutrónica que produce un núcleo inestable que emite radiación hasta llegar a un núcleo estable.

$$^{99}Tc + {}^{1}n_{o} \rightarrow {}^{100}Tc \xrightarrow{\beta\,(1.6\,s)} {}^{100}Ru \qquad (Estable)$$

$$^{129}I + {}^{1}n_{o} \rightarrow {}^{130}I \xrightarrow{\beta\,(12.4\,h)} {}^{130}Xe \qquad (Estable)$$

Afortunadamente, los núcleos estables anteriores producen otros radionúclidos estables al capturar un neutrón, no perturbando, por ello, el proceso de transmutación. En otros casos no es así, apareciendo dificultades adicionales.

Para la transmutación del Tc-99 e I-129 conviene utilizar un espectro térmico o ligeramente supratérmico, preferentemente en la zona de resonancias en la que la sección eficaz de captura es mayor.

En los proyectos actualmente en marcha se contemplan varios tipos de reactores para la transmutación: térmicos (LWR), rápidos avanzados con refrigeración de metales líquidos y subcríticos conectados a un acelerador a través de un sistema de espalación.

Los países que más están investigando en la transmutación son Francia y Japón, que mantienen un amplio programa que abarca diferentes opciones cuya viabilidad se está analizando para tomar decisiones en un plazo aproximado de una década. En EEUU también existe un programa

dedicado fundamentalmente a la transmutación de actínidos procedentes de las actividades de Defensa. Finalmente, existe un grupo de investigación del CERN, dirigido por el prof. Rubbia, Premio Nobel de Física, que ha realizado algunos ensayos de espalación y transmutación de productos de fisión en la zona de resonancia, utilizando los aceleradores de dicho Centro y el Plomo como medio generador y moderador de neutrones. A partir de estos ensayos, este grupo ha concebido un sistema denominado Amplificador de Energía (Fig. 12) para producir energía y transmutar residuos radiactivos.

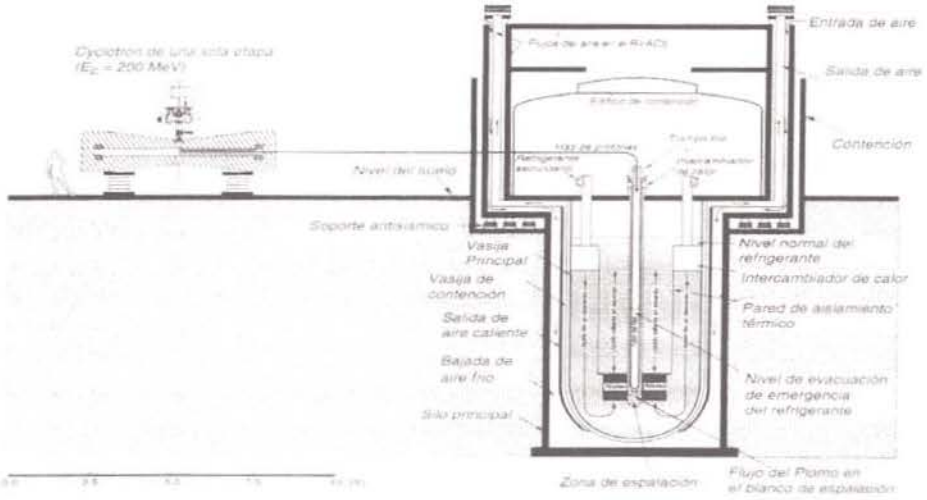


Figura 12.

V. SÍNTESIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Como se ha dicho anteriormente, la energía nuclear nació con la confianza puesta en el ciclo cerrado, utilizando reactores reproductores rápidos para aprovechar mejor la energía del uranio, eliminando el plutonio de los residuos a gestionar.

Aunque los desarrollos necesarios para la gestión de los residuos de alta actividad no se abordaron al principio, a la espera de la culminación del desarrollo de los reactores rápidos y de los posteriores reprocesos,

no existía ninguna duda de la capacidad científica y técnica para resolver los problemas que podría plantear dicha gestión.

Muchas cosas han pasado desde entonces, comenzando por el abandono del reproceso por EEUU y siguiendo por los accidentes de Three Mile Island y Chernobil; pero, sobre todo, ha habido un cambio sustancial de la sociedad en relación con el medio ambiente, aumentando grandemente su sensibilidad frente a él y apuntando contra ciertas formas de progreso, algunas basadas en avanzadas tecnologías como la energía nuclear, como culpables, o cuando menos sospechosas, de su actual o futura degradación. La desconfianza en el colectivo tecnológico al que le ha tocado abordar el desarrollo o explotación de la tecnología nuclear y, en general, en las autoridades políticas es otro elemento más que dificulta en el momento actual la toma de decisiones sobre la estrategia de gestión del combustible irradiado.

No importa el por qué, ni el problema tiene que ver con la realidad del riesgo, que es objetivamente (cuando se dice objetivamente, se refiere uno a la cuantificación del daño potencial) más grande en otras actividades. Se trata del riesgo percibido, que está fuertemente asentado en convicciones personales y creencias difíciles de cambiar. Sólo así se explican las incertidumbres y algunos fracasos que estamos viviendo en los tiempos actuales. Y, sin embargo, el residuo sigue estando ahí y necesita soluciones temporales y definitivas.

En el momento actual se han consolidado dos tipos de ciclo del combustible, abierto y cerrado, habiéndose realizado un gran esfuerzo de investigación para desarrollar el AGP; concepto éste que ha pervivido a lo largo del tiempo consolidándose científicamente como una solución sólida que cumple razonablemente el compromiso ético con la sociedad actual y futura.

Sin embargo, aunque el AGP para residuos de alta actividad tiene una gran solidez científica no ha recibido todavía la aceptación política y social en ningún país; aunque se sigue investigando el concepto en todos los países con energía nuclear.

Recientemente se ha renovado el interés en las nuevas tecnologías de separación y transmutación como una vía para disminuir la radiotoxi-

cidad de los residuos, pensando también que así se favorecería la aceptación social del AGP.

La transmutación está, por otra parte, condicionada por la continuidad de la energía nuclear, ya que su implantación necesita un amplio periodo de uso de dicha energía, lo que está a su vez condicionado por un cambio de actitud de la sociedad frente a la misma.

Este cambio exigirá lógicamente la solución consensuada de la gestión de residuos y, en general una energía nuclear más sostenible.

Estamos, por tanto, ante un importante dilema cuya solución va a requerir en el futuro un alto grado de reflexión y participación ciudadana para hacer posible la decisión política.

VI. UN POCO DE ESPECULACIÓN SOBRE EL FUTURO

El consumo mundial de energía, que es actualmente del orden de 10^8 Gwh/a, continuará aumentando previsiblemente, debido principalmente al legítimo desarrollo de los países con niveles de renta más bajos que aspiran a aumentar su consumo específico para mejorar su nivel de vida.

Las necesidades de energía no podrán cubrirse de forma sostenida por los combustibles convencionales, no sólo debido a sus problemas de contaminación ambiental, sino también, más pronto o más tarde, por su escasez.

Las energías renovables, que tienen un potencial interesante de crecimiento, no parece que puedan sobrepasar un porcentaje crítico, entre 10 y 20%, de la energía total, debido a su limitación técnica y económica.

La fusión, que es la energía que se espera resuelva de forma definitiva el problema de la energía, no se sujeta fácilmente a la predicción, siendo poco fiable cualquier argumentación que pretenda garantizar su utilización comercial en un futuro cercano.

Parece, por tanto, relativamente fácil aventurar que la energía nuclear de fisión continuará siendo requerida durante un periodo relativa-

mente amplio, e incluso podría incrementar su participación en la generación de energía eléctrica, actualmente en torno al 18%. No en vano esta energía presenta dos ventajas importantes que apuntan hacia lo que en una visión de futuro tiende el proceso de generación de energía:

— Contaminación prácticamente nula en operación normal.

— Economía intrínseca debida a su alta concentración específica.

Sin embargo, para ello tendrá que superarse el problema de aceptación pública, debiendo producirse un cambio de mentalidad social que permita apreciar las ventajas citadas, lo que deberá ir acompañado de importantes mejoras tecnológicas para continuar aumentando la seguridad y para completar la capacidad de gestión segura de los residuos radiactivos. Como parte de dicha aceptación social, deberá demostrarse de forma asequible a la población que el riesgo que suponga su desarrollo sea comparable de forma ventajosa con el que suponen otras formas de generación de energía y otras actividades de la humanidad. Conviene resaltar que los problemas importantes de gestión no son específicos ni exclusivos de los residuos radiactivos, sino que también afectan a otros residuos tóxicos, cuya solución deberá ser muy similar a la de aquéllos.

Naturalmente, el proceso de generación de la energía nuclear arrastrará al de gestión de los residuos radiactivos producidos en ella, que encontrará necesariamente soluciones condicionadas por el desarrollo de los reactores nucleares. Aunque el AGP será solución necesaria en cualquiera de los escenarios asociados a los ciclos de combustible que se adopten, no es menos cierto que un desarrollo continuado de la energía nuclear tenderá a favorecer reprocesos más avanzados que afectarían a la gestión de los residuos (la llamada «transmutación» entre ellos). Ello, además de mejorar el aprovechamiento energético de los recursos, podría favorecer la aceptación pública de la gestión de residuos.

Parece, por tanto, que el concepto del AGP mantendrá e incrementará su solidez, pero el término fuente podrá verse modificado por la posible aplicación de tecnologías de separación y transmutación. El AGP deberá, or otra parte, diseñarse de forma que sea reversible durante el mayor tiempo posible.

En el futuro a medio plazo, cuando se comercialice la fusión, podrán concebirse sistemas combinados de reactores de fusión y conjuntos subcríticos de fisión que favorezcan la transmutación, aprovechando la gran cantidad de neutrones que se producen en los procesos de fusión.

La visión anterior parece adecuada en un contexto de progreso e impulso de soluciones de alto valor tecnológico sobre horizontes lejanos; no obstante, en la medida en que, por cualquier circunstancia, se decanten soluciones más a corto plazo de minoración o desaparición de la energía nuclear, se favorecería el ciclo abierto, consolidándose el almacenamiento en el AGP de los elementos combustibles quemados.

Probablemente, la humanidad no dejará de aprovechar las energías más concentradas, localizadas en las partículas más elementales, pasando de la fisión a la fusión nuclear, y sabrá superar sus actuales contradicciones apostando por el futuro más tecnológico. Detrás de esta apuesta podrá haber nuevos descubrimientos que den paso a nuevas fuentes de energía.

El espectacular desarrollo en el que estamos inmersos, que comenzó hace 15.000 millones de años, cuando se inició la expansión del universo a partir de un punto de singularidad energética, está necesariamente vinculado a una evolución progresiva e imparable, como se indica en la Fig. 13.

En ella se descubren algunos elementos de esperanza que, en todo caso, nos permiten confirmar el relativismo de muchas afirmaciones y la confianza que puede y debe tenerse en el progreso. Si al "homo erectus" se le hubiera preguntado por lo que estimaba iba a ser el mejor mundo futuro hubiera concebido una sociedad basada en utensilios más o menos sofisticados de piedra y hubiera considerado la piedra silícea como el factor limitante del progreso.

¿Hasta qué punto las extrapolaciones que hacemos ahora sobre los conocimientos y tecnologías más avanzadas que conocemos en la actualidad se van a quedar desplazadas por otras nuevas que no alcanzamos ahora a concebir? ¿Se curará el cáncer, relativizándose entonces el riesgo potencial de los residuos radiactivos y en general del uso de las propiedades radiactivas de los elementos?. ¿Aparecerán nuevas tecnolo-

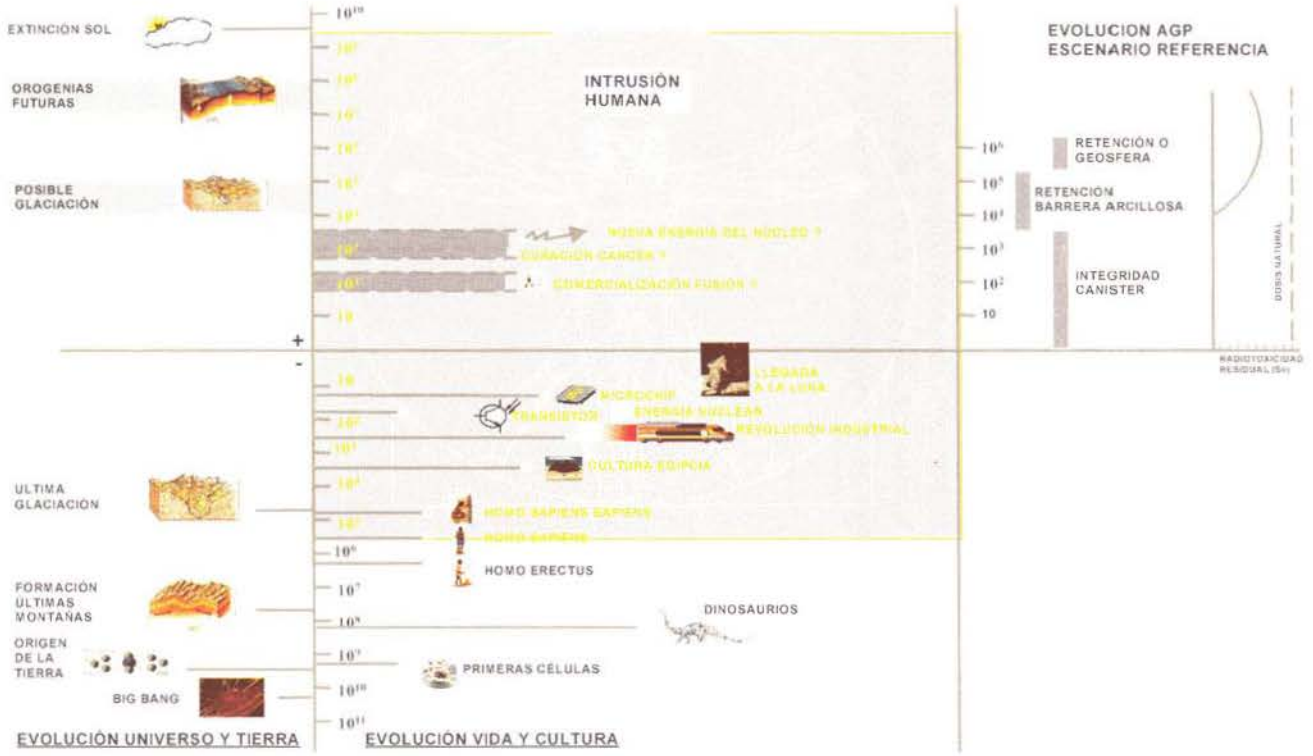


Fig. 13. Evolución del universo y de la cultura

gías que permitan el manejo de las partículas elementales para generar energía y/o transmutar sustancias nocivas sin limitaciones?. Aunque ya sabemos, por experiencia, que existen límites insoslayables para conseguir el paraíso terrestre, no podemos descartar que algunos de los desarrollos imaginables puedan hacerse realidad.

En cualquier caso, también en la figura se apunta, mediante una sombra que cubre el tiempo de presencia del hombre, la mayor paradoja, según la cual el ser humano es por un lado el objeto de toda la evolución tecnológica y por otro uno de sus mayores riesgos; no en vano los escenarios de intrusión humana son los más impredecibles. Sin duda tendrá también que considerarse este aspecto a la hora de resolver satisfactoriamente el problema de la energía y de los residuos.

VIII. "Perspectivas mediatas e inmediatas de la energía"

ANTONIO COLINO MARTÍNEZ

Presidente de ENRESA

I. INTRODUCCIÓN

Hacer una aproximación a la situación actual del sector energético y su posible evolución en el futuro obliga a realizar una reflexión amplia sobre los factores más determinantes de nuestra formas de producir, de actuar, de divertirnos, en definitiva de vivir. Se acepta actualmente que la energía es el cuarto factor de producción, junto con los clásicos trabajo, tierra y capital, lo que convierte su disponibilidad en una condición necesaria para el funcionamiento regular de una sociedad. Pero la gestión de los suministros de energía va más lejos, debido a diversos factores de gran importancia en los ámbitos político, social y económico. Entre otros se pueden destacar la desigual distribución geográfica de los recursos energéticos, el impacto ambiental de la producción y consumo de energía, las importantes necesidades de capitales para financiar los programas de I + D de las tecnologías energéticas o la difícil sustitución de algunos productos energéticos en máquinas y sistemas que configuran gran parte de nuestra vida cotidiana. Dicho de otra forma, es difícil imaginar una sociedad avanzada que no disponga de un acceso a los recursos y formas de consumo energético de manera económica, continua, segura, diversificada, tecnológicamente eficiente y medioambientalmente aceptable.

En nuestros días se considera que el suministro energético está razonablemente garantizado. Consecuentemente, el esfuerzo de los encargados de la política energética y de los profesionales se dirige a hacerle lo más económico posible. Para conseguirlo, en el mundo occidental, se ha elegido el sistema de confiar a los mecanismos del mer-

cado la optimización de las cantidades y precios de los combustibles en los mercados de producción y comercialización de las energías clásicas, lo que es posible en la situación actual de materias primas abundantes, precios favorables en los mercados internacionales y relativa estabilidad política en los principales países productores. Este estado contrasta con la percepción de escasez que dominaba la opinión mundial hace veinte años tras las dos crisis del petróleo. Sin embargo, la aparente falta de intervención administrativa en los sistemas energéticos no debe hacer olvidar que la energía en sí misma constituye un factor insustituible para nuestra forma de vida y que su evolución en el futuro continuará siendo un motivo importante de preocupación. La política energética continuará ocupándose de garantizar el suministro adecuado al coste más barato, con más preocupación si cabe, ya que algunas formas especializadas de energía como la electricidad y su aplicación en sistemas tecnológicos altamente complejos como la informática , conforman actualmente la diferencia entre las sociedades clásicas y las sociedades avanzadas.

La conferencia que sigue pretende dar una visión de cual será la situación más probable de las necesidades energéticas en los próximos veinte años atendiendo a las cuestiones que más afectarán a este sector, tanto desde la perspectiva de la demanda como desde la estimación de las posibilidades de oferta de recursos y su competencia relativa. En primer lugar se realiza una descripción de la situación energética mundial y de la situación española en la actualidad, con referencia a los factores más importantes que determinan la producción, el consumo y el intercambio de materias primas energéticas y combustibles. La segunda parte pretende analizar los factores que determinarán la demanda y la oferta futura de bienes energéticos a partir de un escenario de equilibrio energético para los próximos veinte años basado en los estudios y previsiones del Consejo Mundial de la Energía, de la Comisión de la Unión Europea y del Departamento de Energía (DOE) de los Estados Unidos. En la tercera parte se analizarán las posibilidades de las nuevas tecnologías energéticas como elementos que pueden modificar estas previsiones en un futuro más lejano, para concluir enumerando los retos y las recomendaciones que, desde nuestro punto de vista, permitan un futuro energético seguro y suficiente.

II. SITUACIÓN ACTUAL EN EL MUNDO

Consumo

En 1996, el consumo total de energía primaria en el mundo fue de 9,2 Gigatoneladas equivalentes de petróleo. (Tabla 1). Esta cifra supone un aumento del 2,7% sobre el consumo del año anterior, por encima de la tasa del 1,3% que se registró de media anual en el período 1990/1996. La buena marcha de la actividad económica en los últimos años parece ser la causa de este incremento, que durante el período 1980/1996 fue inferior, el 1,7%.

Los grandes bloques geográficos de consumo fueron los países de la Asociación de Libre Comercio de Norteamérica (NAFTA), Estados Unidos, Canadá y México, que consumieron el 27,5% del total, la Unión Europea, que demandó el 15,5%, la Comunidad de Estados Independientes, el 10,3% y los países de la OCDE-Pacífico (Japón y Corea) que demandaron el 6,9%. De esta forma, el 16% de la población mundial consumió el 60% del total de la energía. El desarrollo en el período está caracterizado por el crecimiento más rápido de los países fuera de la OCDE durante los años 80, países en desarrollo y países del ámbito de la antigua Unión Soviética (2,9% por año contra 0,9% anual en la OCDE). Sin embargo, mientras que los países OCDE continuaron demandando un 1,7% anual de media durante los noventa, el resto del mundo tuvo un ligero crecimiento del 1% anual. Esta caída es el resultado de decrecimientos significativos en los países de Europa Central y del Este (2% negativo por año como promedio) y en la antigua Unión Soviética (5,9% negativo anual de media), que se compensó por una demanda creciente en el Oriente Medio (4,6% de media), en Asia (4,7%) y en América Latina (3,1%).

Una perspectiva más "histórica" muestra que en los últimos cuarenta años, la demanda energética se ha incrementado considerablemente, pues si en 1960 el consumo mundial de energía fue de 3,3 Gtep., en 1990 ascendió a 8,5 Gtep., y en 1996 a 9,2 Gtep., con un crecimiento en el período del 179%, equivalente a una tasa media anual del 2,9%.

El consumo de energía final tiene una evolución diferente según el sector de actividad que se considere. El consumo en transportes viene

TABLA 1

Consumo bruto de energía en el mundo (total por regiones)

TOTAL GROSS ENERGY CONSUMPTION: TOTAL BY REGION

Mtoe	1980	1985	1988	1990	1994	1995	1996	85/80	90/85	94/90	95/94	96/95
								ANNUAL % CHANGE				
World	7.073,6	7.616,0	8.357,4	8.508,7	8.744,1	8.967,6	9.212,2	1,5%	2,2%	0,7%	2,6%	2,7%
Bunkers	109,0	94,8	104,2	118,3	125,6	129,4	130,0	-2,8%	4,5%	1,5%	3,0%	0,5%
Western Europe	1.282,0	1.285,6	1.339,1	1.363,8	1.386,2	1.417,1	1.468,4	0,1%	1,2%	0,4%	2,2%	3,6%
European Union	1.240,8	1.240,5	1.292,8	1.315,3	1.335,1	1.366,2	1.417,3	0,0%	1,2%	0,4%	2,3%	3,7%
EFTA	41,1	45,1	46,3	48,6	51,1	50,9	51,0	1,9%	1,5%	1,3%	-0,4%	0,4%
Rest of OECD	2.561,0	2.577,6	2.800,2	2.852,5	3.071,6	3.123,8	3.205,3	0,1%	2,0%	1,9%	1,7%	2,6%
NAFTA	2.103,6	2.086,3	2.259,7	2.259,9	2.424,2	2.454,6	2.512,5	-0,2%	1,6%	1,8%	1,3%	2,4%
OECD Pacific	426,1	452,4	493,8	540,1	590,7	607,0	627,3	1,2%	3,6%	2,3%	2,8%	3,3%
Central and Eastern Europe	354,0	370,1	381,4	335,7	2.69,8	281,0	297,0	0,9%	-1,9%	-5,3%	4,1%	5,7%
CIS (1)	1.133,0	1.276,5	1.394,5	1.354,8	990,6	958,9	943,2	2,4%	1,2%	-7,5%	-3,2%	-1,6%
Africa	220,6	285,2	317,0	321,5	348,1	357,3	367,1	5,3%	2,4%	2,0%	2,6%	2,7%
Middle East	133,3	191,4	229,1	237,1	286,3	295,7	311,3	7,5%	4,4%	4,8%	3,3%	5,3%
Asia	980,2	1.211,2	1.432,2	1.563,3	1.867,1	1.988,3	2.055,2	4,3%	5,2%	4,5%	6,5%	3,4%
Latin America	300,6	323,6	359,8	361,8	398,7	424,7	434,7	1,5%	2,3%	2,5%	4,4%	4,5%
Of which (%)												
European Union	17,5	16,3	15,5	15,5	15,3	15,2	15,4	-1,5%	1,0%	-0,3%	-0,2%	1,0%
OECD	54,3	50,7	49,5	49,6	51,0	50,6	50,7	-1,4%	-0,5	0,7%	-0,7%	0,2%

(1) Including Baltic countries for statistical reasons.

FUENTE: Comisión Europea.

creciendo regularmente desde 1980 a una tasa anual del 2%, con una participación de los países de la OCDE del 69% en el total mundial. El futuro próximo parece estar determinado por dos componentes principales: la contribución creciente del transporte en la demanda final de energía (desde el 23,2 % en 1980 al 26% en 1995) y el crecimiento sostenido en las regiones emergentes (7,5% anual desde 1990 en Asia y 5,1% en América Latina). Tabla 2.

El consumo energético en los sectores terciario y doméstico creció por término medio un 1,8% desde 1980 con una trayectoria muy diferenciada entre la zona OCDE (0,9% al año) y el resto del mundo (2,6% anual), debido a la mejora en las condiciones de vida en estas regiones. De esta manera, la participación de OCDE en el consumo del sector terciario-comercial bajó del 48% en 1980 al 42% en 1995. Tabla 2.

El consumo energético en la industria fue el mismo en 1995 que en 1980 y un 5% por debajo del pico alcanzado en 1988. Los factores que parecen explicar esta evolución son el amplio declive en la producción industrial en los países del Este desde 1990 y los esfuerzos continuados desde los años ochenta de los industriales del resto del mundo para reducir el consumo específico por cada unidad producida. Aunque el consumo descendió en la región OCDE a una media del 1% anual desde 1980, en el resto del mundo creció a una tasa del 0,8%. Consecuentemente, la participación de los países no-OCDE en el total mundial del consumo industrial creció del 52% en 1980 al 59% en 1995. El análisis indica que en los próximos años esa zona será la que lidere el consumo. Tabla-2.

Oferta

Más del 80% de la producción energética en 1996 correspondió a combustibles fósiles, entre los cuales, el petróleo continúa siendo el combustible más utilizado (37,2 %). Su producción y consumo, sin embargo, han crecido tres veces más despacio que las necesidades totales de energía. El segundo combustible más importante continúa siendo el carbón que mantiene una proporción de casi el 25%. El gas natural se sitúa como la tercera fuente de energía con un 21% en 1996, presen-

TABLA 2

Consumo mundial de energia por sectores (total por regiones)

TOTAL ENERGY CONSUMPTION BY INDUSTRY: TOTAL BY REGION

Mtoe	1980	1985	1988	1990	1994	1995	1996	85/80	90/85	94/90	95/94	96/95
								ANNUAL % CHANGE				
World	1.893,4	1.888,8	2.013,8	1.961,4	1.869,7	1.904,5	na	0,0%	0,8%	2,3%	1,9%	na
Western Europe	321,4	281,1	285,8	279,6	262,7	267,7	276,6	-2,6%	-0,1%	0,5%	1,9%	3,3%
European Union	310,7	269,8	275,7	269,7	252,6	257,4	266,4	-2,8%	0,0%	0,4%	1,9%	3,5%
EFTA	10,7	11,3	10,2	9,8	10,1	10,3	10,2	1,0%	-2,8%	3,1%	2,1%	-0,5%
Rest of OECD	581,9	541,4	566,5	509,7	509,5	519,7	533,9	-1,4%	-1,2%	1,9%	2,0%	2,7%
NAFTA	465,6	423,3	443,1	378,6	376,1	383,3	395,1	-1,9%	-2,2%	2,0%	1,9%	3,1%
OECD Pacific	109,7	110,4	113,9	120,2	122,6	124,3	125,9	0,1%	1,7%	1,8%	1,3%	1,3%
Central and Eastern Europe	123,7	119,7	111,0	98,3	65,1	69,2	na	-0,7%	-3,8%	-0,4%	6,3%	na
CIS (1)	399,7	386,1	413,5	413,5	264,7	245,6	na	-0,7%	1,4%	-1,2%	-7,2%	na
Africa	42,0	46,2	49,1	49,7	43,3	45,3	na	1,9%	1,5%	-1,6%	4,6%	na
Middle East	36,4	40,4	37,3	32,6	41,4	47,2	na	2,1%	-4,2%	7,0%	14,0%	na
Asia	304,4	385,4	454,4	483,5	579,1	601,6	na	4,8%	4,6%	5,4%	3,9%	na
Latin America	83,8	88,7	96,1	94,5	103,9	108,2	na	1,1%	1,3%	3,2%	4,1%	na
Of Which (%)												
European Union	16,4	14,3	13,7	13,8	13,5	13,5%	na	-2,7%	-0,8%	-1,8%	0,0%	na
OECD	47,7	43,5	42,3	40,2	41,3	41,3%	na	-1,8%	-1,6%	-0,9%	0,1%	na

FUENTE: Comisión Europea.

TABLA 2 *(continuación)*
Consumo mundial de energía por sectores (total por regiones)

TOTAL ENERGY CONSUMPTION BY TRANSPORT: TOTAL BY REGIONS

Mtoe	1980	1985	1988	1990	1994	1995	1996	85/80	90/85	94/90	95/94	96/95
								ANNUAL % CHANGE				
World	1.138,9	1.221,3	1.366,0	1.424,4	1.484,7	1.533,2	na	1,4%	3,1%	0,7%	3,3%	na
Western Europe	197,1	210,7	243,7	264,4	283,3	286,8	294,7	1,3%	4,6%	1,3%	1,3%	2,7%
European Union	189,2	201,8	233,6	253,6	272,2	275,7	283,3	1,3%	4,7%	1,4%	1,3%	2,8%
EFTA	7,8	8,9	10,1	10,8	11,1	11,1	11,4	2,5%	4,0%	0,5%	0,6%	2,7%
Rest of OECD	583,5	602,2	669,3	687,7	740,5	757,8	778,2	0,6%	2,7%	2,7%	2,3%	2,7%
NAFTA	502,2	515,5	570,2	577,7	617,3	629,3	644,8	0,5%	2,3%	2,6%	1,9%	2,5%
OECD Pacific	75,7	80,1	90,4	100,5	112,3	116,3	120,5	1,1%	4,6%	3,0%	3,6%	3,6%
Central and Eastern												na
Europe	25,4	23,9	26,9	28,0	22,6	23,2	na	-1,2%	3,2%	-0,1%	2,3%	na
CIS (1)	123,8	134,1	144,6	139,9	65,5	66,1	na	1,6%	0,9%	-26,9%	1,0%	na
Africa	30,8	35,5	37,1	37,4	39,1	40,5	na	2,9%	1,1%	2,3%	3,7%	na
Middle East	33,2	46,9	44,8	48,2	56,8	56,5	na	7,2%	0,5%	3,9%	-0,6%	na
Asia	78,2	99,7	123,0	141,1	184,0	202,7	na	5,0%	7,2%	7,6%	10,2%	na
Latin America	67,0	68,2	76,5	77,7	93,0	99,6	na	0,4%	2,6%	6,4%	7,1%	na
Of Which (%)												
European Union	16,6	16,5	17,1	17,8	18,3	18,0	na	-0,1%	1,5%	0,6%	-19,0%	na
OECD	68,5	66,6	66,8	66,8	69,0	68,1	na	-0,6%	0,1%	1,6%	-1,2%	na

FUENTE: Comisión Europea.

tando un crecimiento acelerado desde 1980, si se excluye una bajada relativa entre 1990 y 1995 debida a la particular situación económica en la Comunidad de Estados Independientes (CIS). Las energías renovables (hidráulica, geotérmica, biomasa y eólica) representaron el 11% del consumo energético mundial en 1996 con una participación mantenida desde 1980 y un crecimiento anual del 2%. Destaca que la participación de la biomasa está estabilizada en un porcentaje del 8%. La energía nuclear, que aporta casi el 7% del consumo energético mundial fue la que creció de manera más rápida entre 1980 y 1996. Hasta 1986 su ritmo de crecimiento fue del 16% anual, para descender al 6% anual entre 1986 y 1990 y sólo al 3,1% entre 1990 y 1996. Tabla-3.

Petróleo

El petróleo continúa siendo el combustible más utilizado, aunque como se ha indicado pierde cuota en la producción total energética. La cifras señalan que su sustitución se ha producido principalmente con un aumento del consumo de carbón, de gas y de energía nuclear. La OPEP es el mayor productor de petróleo aunque su peso en la producción total cayó desde el 46% en 1980 (54% en 1973) al 40% en 1996, con un mínimo del 29% en 1985.

Carbón

El papel del carbón en usos energéticos ha cambiado sustancialmente a lo largo de décadas, pasando de ser un combustible usado extensivamente en todos los sectores económicos a ser usado, básicamente, en la producción de electricidad, y en unos pocos sectores industriales como el de producción de acero, el de producción de cemento y en la industria química. Aunque el carbón para usos finales ha perdido cuota de mercado a favor de los productos petrolíferos y el gas natural, todavía es una fuente energética clave debido a su papel dominante en sus mercados de origen y a su éxito en penetrar en los mercados de las economías emergentes. En 1996, el carbón representó

el 24% de la producción de energía primaria, con este nivel estabilizado desde 1980. El mayor productor en 1996 continuó siendo Asia con un 40% de la producción mundial, seguido de los países NAFTA con un 26%. El aumento de la producción en esas dos regiones compensó la bajada en los países de la CIS y de Europa Oriental y el cierre de explotaciones en la Unión Europea como consecuencia de la reestructuración del sector minero.

Gas

Entre las producciones de combustibles fósiles, la de gas natural registró el mayor incremento entre 1980 y 1990 con un aumento total del 38%. Entre 1990 y 1996, la producción ha aumentado sólo un 12% debido a la reducción en la CIS, el segundo productor mundial. Los dos mayores productores fueron la CIS y la región NAFTA. Su participación en el total mundial alcanzó el 62% en 1996. La producción está creciendo muy rápidamente en Asia con incrementos próximos al 9% anual desde 1980. Desde 1990, el principal consumidor de gas es el sector eléctrico.

Renovables

La mayor parte de las energías renovables no comerciales se refieren a la biomasa. Su producción y utilización energética es especialmente importante en Asia (49% del total de producción de biomasa), en Africa (17%) y en América Latina (11%). Como se ha indicado, desde 1980 la contribución de la biomasa al suministro energético mundial permanece estable en valores en torno al 8%. La utilización de otras energías renovables con uso comercial está siendo desarrollada principalmente en Europa Occidental debido a razones medioambientales y en países en desarrollo en zonas alejadas de las grandes redes de transporte de energía. En concreto, la energía eólica es la de mayor crecimiento porcentual. En el resto del mundo, los bajos precios de los combustibles fósiles son el mayor impedimento para la implantación de este tipo de energías debido principalmente a sus todavía altos costes de inversión.

TABLA 3

Balance resumen energía en el mundo

Mtoe	1980	1985	1990	1994	1995	1996(3)	85/80	90/85	94/90	95/94	96/95
							ANNUAL % CHANGE				
Primary Production	7.147	7.587	8.599	8.770	8.998		1,2%	2,5%		2,6%	2,6%
Solids	1.806	2.024	2.190	2.145	2.214		2,3%	1,6%		3,2%	0,9%
Oil	3.162	2.870	3.223	3.284	3.344		-1,9%	2,4%		1,8%	2,8%
Natural Gas	1.241	1.429	1.705	1.775	1.811		2,9%	3,6%		2,0%	5,2%
Nuclear	187	387	519	577	602		15,8%	6,0%		4,4%	3,4%
Hudro & Wind	150	172	187	206	218		2,8%	1,7%		5,7%	2,0%
Geothermal	12	20	32	35	34		11,1%	9,9%		-2,3%	4,8%
Other renewable energy sources	589	685	732	748	774		3,1%	1,3%		3,6%	1,0%
Net Imports (1)	-7	25	-3	5	-41		-	-		-	6,6%
Solids	2	3	1	4	-13		8,1%	-24,6%		-	-43,9%
Oil	-6	27	-1	3	-24		-	-		-	-19,1%
Crude oil	17	75	56	59	32		33,9%	-5,7%		-46,3%	na
Oil products	-24	-48	-56	-56	-56		15,0%	3,4%		0,0%	na
Natural gas	-2	-5	-4	-2	-4		14,2%	-5,2%		81,7%	326,5%
Electricity	0	0	0	0	0		-	-		149,8%	-17,3%
Gross Intand Consumption	6.965	7.521	8.390	9.618	8.838		1,5%	2,2%		2,5%	2,8%
Solids	1.789	2.028	2.165	2.157	2.204		2,5%	1,3%		2,2%	1,8%
Oil	3.001	2.806	3.081	3.150	3.200		-1,3%	1,9%		1,6%	2,8%
Natural gas	1.237	1.423	1.674	1.745	1.805		2,8%	3,3%		3,4%	4,5%
Other (2)	938	1.264	1.470	1.588	1.629		6,1%	3,1%		4,0%	2,1%
Electicity Generation in Twh	8.312	9.828	11.843	12.909	13.241		3,4%	3,8%		3,4%	na
Nuclear	713	1.492	2.013	2.241	2.332		15,9%	6,2%		4,0%	na
Hydro & wind	1.755	2.014	2.188	2.406	2.544		2,8%	1,7%		5,8%	na
Thermal	6.843	6.322	7.642	8.161	8.364		1,6%	3,9%		2,5%	na
Generation Capacity in Gwe	1.987	2.444	2.748	2.999	3.056		4,2%	2,4%		1,9%	na
Nuclear	142	253	330	346	349		12,3%	5,4%		0,8%	na
Hydro & wind	468	567	638	705	717		3,9%	2,4%		1,7%	na
Thermal	1.378	1.625	1.781	1947	1.990		3,3%	1,9%		2,2%	na
Average Load Factor in %	47,7	45,9	49,2	48,8	49,5		-0,8%	1,4%		1,4%	na

FUENTE: Comisión Europea.

TABLA 3 *(continuación)*
Balance resumen energía en el mundo

Mtoe	1980	1985	1990	1994	1995	1996(3)	85/80	90/85	94/90	95/94	96/95
							ANNUAL % CHANGE				
Fuel Inputs for Thermal Power Generation	1.555	1.696	2.033	2.228	2.267	na	1,7%	3,7%	2,3%	1,7%	na
Solids	838	983	1.147	1.240	1.295	na	3,3%	3,1%	2,0%	4,5%	na
Oil	427	328	322	331	308	na	-5,1%	0,4%	0,6%	-6,9%	na
Gas	271	353	479	560	570	na	5,4%	6,3%	4,0%	1,7%	na
Geothermal	11	19	31	33	32	na	11,2%	9,8%	2,1%	-2,8%	na
Biomass	8	12	54	64	62	na	8,8%	34,6%	4,2%	-3,3%	na
Average Thermal Efficiency in %	32,3	32,1	32,3	31,5	31,9	na	-0,2%	0,2%	-0,6%	0,7%	na
Non Energy Uses	340	350	423	435	484	na	0,6%	3,8%	0,7%	6,6%	na
Total Final Energy Demand	4.928	5.216	5.656	5.769	5.921	na	1,1%	1,6%	0,5%	2,6%	na
Solids	781	846	844	752	762	na	1,6%	0,0%	-2,9%	1,4%	na
Oil	2.069	2.000	2.188	2.213	2.285	na	-0,6%	1,8%	0,3%	3,2%	na
Gas	803	848	940	936	968	na	1,1%	2,1%	-0,1%	3,5%	na
Electricity	587	694	832	903	932	na	3,4%	3,7%	2,1%	3,2%	na
Heat	120	159	177	289	269	na	5,9%	2,1%	13,1%	-6,9%	na
Renewable energy sources	579	669	675	676	705	na	2,9%	0,2%	0,0%	4,2%	na
CO_2 Emissions in Mt. Of CO_2	17.778	18.444	20.332	20.720	21.209	21.728	0,7%	2,0%	0,5%	2,4%	2,4%
Indicators											
Population (Million)	4.413	4.808	5.242	5.567	5.845	5724	1,7%	1,7%	1,5%	1,4%	1,4%
GDP (index 1995-100)	89,5	100,0	117,1	124,4	127,7	131,5	2,3%	3,2%	1,5%	2,6%	3,0%
GDP (1990 MECU)	12.938	14.462	16.930	17.994	18462	19019	2,3%	3,2%	1,5%	2,6%	3,0%
Gross Int. Cons/GDP (toe'1995 MECU)	538,3	520,1	495,6	479,0	478,7	477,5	-0,7%	-1,0%	-0,9%	0,0%	-0,2%
Gross int. cons./Capita (toe'inhabitant)	1,58	156	1,60	1,55	1,57	1,59	-0,2%	0,5%	-0,8%	1,1%	1,3%
Electricity Generated(capita (KWh/ inhabitant)	1.883	2.044	2.259	2.301	2.346	na	1,7%	2,0%	0,5%	2,0%	na
CO_2 Emissoins/capita (t.of CO_2/ inha-bitant)	4,0	3,8	3,9	3,7	3,8	3,8	-1,0%	0,2%	-1,0%	1,0%	1,0%

(1) Corresponds to statistical errors.
(2) Includes nuclear, hydro and wind not imports of electricity and other energy sources.
(3) Estimates.
FUENTE: Comisión Europea.

Por su parte, la participación de la energía hidráulica en la producción mundial continúa estable en torno al 2,3%.

Electricidad

La electricidad es el componente de mayor crecimiento de la demanda final de energía en todo el mundo. En la zona OCDE, la electricidad creció un 2,8% de media anual en el período 1980-1995, debido al crecimiento y al aumento de aplicaciones eléctricas para ordenadores, comunicaciones y otros aparatos electrónicos. El consumo de electricidad en el resto del mundo creció un 3,8% anual desde 1980, mientras que la demanda final lo hizo a un 1,8%.

La producción térmica continúa siendo la mayor componente de la generación eléctrica aunque su participación ha descendido del 70% en 1980 al 63% en 1995. La contribución nuclear pasó del 9% en 1980 al 18% en 1995, con su crecimiento concentrado principalmente en los años ochenta. Después del año 1990, el aumento de la participación nuclear se ha ralentizado considerablemente debido a la parada de las inversiones en Europa Occidental y en América del Norte. La energía hidráulica, dependiendo de las condiciones climáticas, creció a un porcentaje sostenido del 2,5% anual desde 1980. La mayor restricción a la expansión de la capacidad instalada parece ser las necesidades de capital. Se estima que para el período 1993 a 2010, las inversiones para mantener la infraestructura de producción eléctrica requerirán entre el 0.1 y 0.2 % del PIB de los países industrializados, del 0,6 al 1,1% del PIB en China y del 1,0 al 1,6% del PIB en los países del Sur de Asia.

Tendencias en el consumo energético

Los dos principales indicadores energéticos son el consumo de energía per cápita y la intensidad energética. El nivel de desarrollo económico y los niveles de vida en cada región condicionan de forma muy importante la relación entre crecimiento económico y demanda energética. Las economías avanzadas suelen tener altas utilizaciones energéticas per cápita pero, simultáneamente, este parámetro es relativamente

estable o cambia muy lentamente. En este contexto, los aumentos de demanda energética suelen seguir el crecimiento del empleo y de la población. En los países industrializados, el uso de electrodomésticos y de equipo para el transporte personal está muy extendido. Como consecuencia, los aumentos en los ingresos personales ocasionan gastos en bienes y servicios que no son intensivos en energía. Cuando el gasto se dirige a bienes que utilizan energía, generalmente se dirige a la compra de nuevo equipo que reemplaza al antiguo y que es más eficiente , de forma que la relación entre el ingreso y la demanda de energía es más débil. En los países en desarrollo, los niveles de vida, aunque en aumento, son más bajos que en las economías avanzadas. Los aparatos que consumen energía son adquiridos por primera vez, de forma que la demanda energética suele estar más relacionada con el aumento del nivel de ingresos. Este fenómeno es especialmente evidente en Asia, en los países con un fuerte aumento de PIB.

Desde 1980, el PIB mundial creció a un ritmo del 2,4% de media anual, mientras que la población lo hizo a sólo el 1,6%. La actividad económica fue más sostenida durante la segunda mitad de los años ochenta, seguida de una relativa desaceleración entre 1990 y 1993, principalmente en los países de la OCDE. Desde 1994, el PIB mundial aceleró hasta alcanzar un crecimiento medio del 2,8%. En este contexto, Asia es el motor principal con una tasa de crecimiento del 7,2% durante los últimos diez y seis años.

Si se compara el consumo de energía per cápita entre áreas geográficas en 1996, la NAFTA presenta la tasa más alta, a pesar de la rebaja que induce la contabilidad de México. En el otro extremo, Africa y Asia tienen los niveles más bajos, dos tercios por debajo de la media mundial. A nivel mundial, el consumo energético per cápita permaneció estable, ya que el crecimiento en los países en desarrollo y en la región OCDE se compensó desde 1988 con el decrecimiento en la CIS (-34%) y en los países de Europa Central (-22%). Es importante destacar que Asia, que representó más del 50% de la población en 1996, ha aumentado su consumo per cápita en un 60% desde 1980.

Por su parte, la intensidad energética, medida como consumo per cápita por unidad de PIB, mostró una tendencia decreciente del 0,7%

anual desde 1980 hasta 1994, en que se estabilizó. De hecho, la zona OCDE, que presenta la menor intensidad energética ,mejoró sólo marginalmente este parámetro desde comienzos de los noventa. El resto del mundo lo redujo a un ritmo del 1,6% a pesar de los aumentos en la CIS y en la Europa Oriental. Tabla 4.

Comercio internacional de energía

Los intercambios interregionales de energía primaria representan entre el 15 y el 20% del consumo mundial. La Unión Europea es con mucho la zona que más energía importa, casi el 50%, con un crecimiento anual del 2,3% desde 1985. La segunda zona son los paises de la OCDE en el Pacífico, aunque sus importaciones están estabilizadas desde hace tiempo. La zona NAFTA tiene un perfil importador similar a la Unión Europea, aunque su crecimiento ha sido más rápido en los últimos diez años (13% anual). La OCDE es por tanto la zona que más importa, absorbiendo el 80% de los intercambios mundiales en 1996.

Las principales zonas exportadoras fueron Oriente Medio (49% de las exportaciones), Africa (20% de las exportaciones) y la CIS (16%), todos ellos exportadores de hidrocarburos. Aunque la OPEP mantuvo el dominio en el mercado de petróleo, Rusia supuso el 40% de las exportaciones de gas natural en 1996. Tabla 5.

Medio Ambiente

Uno de los factores que más puede condicionar el suministro energético y su estructura en el futuro es la cuestión medioambiental. Los impactos de la producción, transporte y consumo de energía en el medio ambiente son múltiples, aunque en general son objeto de mayor preocupación aquellos debidos a las emisiones gaseosas por su mayor dificultad de control. Por sencillez, se comentará solamente la situación del sector de la energía respecto a las emisiones de CO2 producidas en la combustión de combustibles fósiles. Las emisiones de CO2 en el mundo aumentaron de forma sostenida durante los años ochenta a un ritmo

TABLA 4

Intensidad energética (total por regiones)

ENERGY INTENSITY: TOTAL BY REGION

TOE/1990 MECU	1980	1985	1988	1990	1994	1995	1996	85/80	90/85	94/90	95/94	96/95
								ANNUAL % CHANGE				
World	538	520	515	496	479	479	478	-0,7%	-1,0%	-0,9%	0,0%	-0,2%
Western Europe	286	267	253	244	238	237	242	-1,4%	-1,8%	-0,7%	-0,2%	1,9%
European Union	291	271	257	248	241	240	245	-1,4%	-1,8%	-0,7%	-0,2%	2,0%
EFTA	186	184	179	177	178	174	171	-0,1%	-0,9%	0,2%	-2,2%	-1,5%
Rest of OECD	447	393	385	369	369	368	366	-2,6%	-1,2%	0,0%	-0,3%	-0,6%
NAFTA	542	476	471	451	447	444	442	-2,6%	-1,1%	-0,2%	-0,7%	-0,4%
OECD Pacific	240	216	208	208	214	216	215	-2,1%	-0,8%	0,7%	1,0%	-0,5%
Mediterranean	440	430	433	444	439	449	442	-0,4%	0,6%	-0,2%	2,2%	-1,6%
Central and Eastern Europe	1.647	1.614	1.588	1.450	1.594	1.572	1.616	-0,4%	-2,1%	2,4%	-1,4%	2,8%
CIS (1)	1.997	1.911	1896	1.871	2.213	2.268	2.298	-0,9%	-0,4%	4,3%	2,4%	1,3%
Africa	747	895	941	915	967	969	949	3,7%	0,5%	1,4%	0,2%	-2,1%
Middle East	353	559	712	699	762	767	775	9,7%	4,6%	2,2%	0,7%	1,0%
Asia	1.513	1.367	1.269	1.228	1.104	1.086	1.045	-2,0%	-2,1%	-2,6%	-1,7%	-3,8%
Latin America	483	514	514	524	499	511	518	1,2%	0,4%	-1,2%	2,4%	1,5%

(1) Including Baltic countries for statistical reasons.

FUENTE: Comisión Europea

TABLA 5
Importaciones netas de Energia
(total por regiones)

ENERGY INTENSITY: TOTAL BY REGION

TOE/1990 MECU	1980	1985	1988	1990	1994	1995	1996	85/80	90/85	94/90	95/94	96/95
								ANNUAL % CHANGE				
Western Europe	671,5	488,7	519,9	563,3	501,6	508,3	513,1	-6,2%	2,9%	-2,9%	1,3%	1,0%
European Union	688,4	527,1	578,8	643,7	633,1	651,2	679,7	-5,2%	4,1%	-0,4%	2,9%	4,4%
EFTA	-21,4	-38,5	-58,9	-80,4	-131,5	-142,9	-166,6	12,4%	15,9%	13,1%	8,7%	16,5%
Rest of OECD	565,9	343,2	481,6	550,3	635,3	606,1	643,3	-9,5%	9,9%	3,7%	-4,6%	6,1%
NAFTA	246,0	68,9	185,1	215,7	280,0	249,8	274,1	-22,5%	25,6%	6,7%	-10,8%	9,7%
OECD Pacific	305,7	257,1	272,8	306,8	323,3	318,9	329,9	-3,4%	3,6%	1,3%	-1,4%	3,5%
Central and Eastern Europe	71,3	66,3	76,2	79,4	51,9	58,8	69,4	-1,4%	3,7%	-10,1%	13,2%	18,1%
CIS (1)	-212,2	-219,2	-272,9	-260,0	-227,2	-244,1	-261,0	0,6%	3,5%	-3,3%	7,4%	6,9%
Africa	-260,4	-240,6	-246,5	-295,3	-299,1	-309,6	-330,2	-1,6%	4,2%	0,3%	3,5%	6,6%
Middle East	-854,8	-394,6	-592,5	-701,3	-784,1	-791,3	-797,1	-14,3%	12,2%	2,8%	0,9%	0,7%
Asia	19,4	1,3	55,7	86,5	197,6	219,4	222,2	-42,2%	133,3%	22,9%	11,0%	1,3%
Latin America	-17,7	-35,7	-36,2	-45,4	-79,6	-97,4	-115,4	15,1%	4,9%	15,1%	22,3%	18,6%
Of Which												
OECD	1.237,4	831,9	1.001,5	1.113,6	1.137,0	1.114,3	1.156,4	-7,6%	6,0%	0,5%	-2,0%	3,8%

(1) Including Baltic countries for statistical reasons.

FUENTE: Comisión Europea

anual del 1,4%. Desde 1990 a 1994 este factor se redujo al 0,5% anual para incrementarse notablemente durante 1995 y 1996, al 2,4% cada año. Se estima que desde 1990 a 1996 han crecido un 7%, situándose a finales de este año en 22.134 millones de toneladas. El aumento ha sido generalizado para todo el mundo, y en algunos casos como en Asia y Oriente Medio su crecimiento anual ha sido superior al 5%. La Unión Europea casi estabilizó sus emisiones, al beneficiarse de los esfuerzos en mejora de la eficiencia energética y en mejora de la calidad de sus carbones. Al mismo tiempo las emisiones de CO2 per cápita se redujeron a un ritmo del 0,4% anual durante los últimos diez y seis años. Si se analizan estas cifras por sectores, se observa que el mayor contribuyente es el sector de producción eléctrica que arroja el 34% del total de emisiones y ha crecido a ritmos anuales del 3,4%. Esto es consecuencia de la rapidez del proceso de electrificación en los países en desarrollo y se espera que esta tendencia continúe en el futuro. La segunda fuente de emisiones es el sector del transporte con un 20% del total y un crecimiento más moderado que la producción eléctrica, el 1,5% anual. Los sectores terciario y doméstico tuvieron tendencias crecientes moderadas en la medida en que el gas natural y la introducción de la calefacción centralizada ("district heating") sustituyeron como fuentes energéticas al carbón y a los combustibles petrolíferos. Por su parte, el sector industrial, muy ligado a las mejoras en equipos de proceso y a un mayor uso de la electricidad, redujo sus emisiones de CO2 a una tasa del 1,1% anual entre 1980 y 1996. Tabla 6.

III. PERSPECTIVAS ENERGÉTICAS A LARGO PLAZO.

La previsión de las necesidades energéticas de cada país y la previsión del contexto mundial son ejercicios que se realizan periódicamente por los Gobiernos de cada país y las organizaciones internacionales destacadas en cuestiones estratégicas. En lo que sigue se tomarán como referencia las previsiones contenidas en el estudio "Energía para el mundo del mañana" realizado en 1993 por el Consejo Mundial de la Energía (WEC), un organismo independiente constituido por profesionales del sector energético de todo el mundo, que elaboran periódica-

TABLA 6
Emisiones munidales de CO_2

CO_2 EMISSIONES (1): TOTAL BY REGION

Mtoe	1980	1985	1988	1990	1994	1995	1996(3)	85/80	90/85	94/90	95/94	96/95
								ANNUAL % CHANGE				
World	18.114	18.738	20.399	20.699	21.109	21.610	22.134	0,7%	2,0%	0,5%	2,4%	2,4%
Western Europe	3.504	3.167	3.223	3.272	3.181	3.238	3.346	-2,0%	0,7%	-0,7%	1,8%	3,3%
European Union	3.431	3.092	3.147	3.195	3.098	3.155	3.260	-2,1%	0,7%	-0,8%	1,8%	3,3%
EFTA	73	75	76	77	83	83	86	0,5%	0,6%	1,8%	0,4%	3,3%
Rest of OECD	6.598	6.536	7.025	7.134	7.533	7.628	7.865	-0,2%	1,8%	1,4%	1,3%	3,1%
NAFTA	5.455	5.359	5.745	5.742	6.024	6.090	6.281	-0,4%	1,4%	1,2%	1,1%	3,1%
OECD Pacific												
Central and Eastern	1.074	1.086	1.175	1.268	1.372	1.387	1.425	0,2%	3,2%	2,0%	1,1%	2,8%
Europe	1.060	1.095	1.094	957	764	775	833	0,7%	-2,7%	-5,5%	1,4%	7,5%
CIS (1)	3.267	3.395	3.641	3.553	2.533	2.408	2.299	0,8%	0,9%	-8,1%	-4,9%	-4,5%
Africa	433	507	551	571	597	628	645	3,2%	2,4%	1,1%	5,2%	2,8%
Middle East	383	538	630	650	826	851	877	7,0%	3,9%	6,2%	3,1%	3,1%
Asia	2.286	2.920	3.581	3.911	3.911	5.289	5.435	5,0%	6,0%	5,9%	7,6%	2,8%
Latin America	584	580	655	650	761	792	834	-0,1%	2,3%	4,0%	4,2%	5,2%
Of Which (%)												
European Union	18,9	16,5	15,4	15,4	14,7	14,6	14,7	-2,7%	-1,3%	-1,3%	-0,5%	0,9%
OECD	55,4	51,3	49,7	49,7	50,1	49,6	49,9	-1,5%	-0,6%	-0,2%	-1,0%	0,7%

(1) in this table emissions from each region include those resulting from bunker fuels.
(2) Including Baltic countriers for statistical reasons.
(3) Estimated values for non-OECD regions.
FUENTE: Comisión Europea.

TABLA 6 *(continuación)*
Emisiones munidales de CO_2

WORLD: CO_2 EMISSIONS BY SECTOR											
Mtoe of CO_2	1980	1985	1988	1990	1994	1995	85/80	90/85	94/90	95/94	95/85
							ANNUAL % CHANGE				
Total	18.114	18.738	20.399	20.699	21.109	21.610	0,7%	2,0%	0,5%	2,4%	1,4%
Bunkers	336	294	323	367	389	401	-2,7%	4,5%	1,5%	3,0%	3,2%
Transformation	6.307	7.475	8.155	8.477	9.141	9.303	3,5%	2,5%	1,9%	1,8%	2,2%
Power Generation	5.075	5.530	6.156	6.459	7.024	7.177	1,7%	3,2%	2,1%	2,2%	2,6%
Energy sector	1.232	1.944	1.999	2.018	2.117	2.127	9,6%	0,7%	1,2%	0,4%	0,9%
Final Demand sectors	11.471	10.969	11.921	11.855	11.579	11.906	-0,9%-	1,6%	-0,6%	2,8%	0,8%
Industry	4.671	3.991	4.261	4.191	3.820	3.932	-3,1%	1,0%	-2,3%	2,9%	-0,1%
Transport	3.492	3.726	4.050	4.131	4.172	4.312	1,3%	2,1%	0,2%	3,4%	1,5%
Domestic and Tertiary	3.308	3.252	3.609	3.533	3.587	3.662	-0,3%	1,7%	0,4%	2,1%	1,2%

FUENTE: Comisión Europea.

mente sus mejores estimaciones y recomendaciones. El otro informe corresponde al International Energy Outlook 2000 elaborado por la Energy Information Administration del Department of Energy (DOE) de Estados Unidos. En ambos casos, las previsiones se extienden al horizonte del año 2020, lo que habida cuenta de los años de publicación de los informes, 1994 y 2000 respectivamente, sitúa los períodos de planificación en aproximadamente 25 años, tiempo razonable para acotar incertidumbres y simultáneamente, poder planificar inversiones y tomar decisiones que por su cuantía, impacto y período de ejecución confieren una notable rigidez a los agentes encargados de la oferta del sector. En todo caso, la intención de esta Conferencia no es tratar de acertar en las estimaciones futuras del mundo energético, sino describir cualitativamente las principales cuestiones que desde varios enfoques (social, económico y tecnológico), y en opinión de dos prestigiosas instituciones, afectarán al suministro energético.

El crecimiento económico y el crecimiento demográfico. Previsiones de demanda en el 2020

Se admite de forma general que los factores que más influyen en la demanda agregada de energía son el crecimiento económico y el crecimiento demográfico. También se acepta que el primer factor tiene más significación que el segundo. El desarrollo económico y la demanda de energía están relacionados, pero su relación varía según la zona geográfica del mundo y su nivel de desarrollo. Desde los inicios de la revolución industrial, la eficiencia en los medios de producción, transformación, transporte y utilización de la energía ha progresado notablemente. La eficiencia del sistema de alumbrado se ha triplicado en los últimos cien años; con las centrales de gas ha ocurrido otro tanto, y así en el resto. Como resultado de ello, la intensidad energética, que se define como la relación entre el consumo de energía y el producto interior bruto, expresado en unidades monetarias constantes, ha descendido en las últimas décadas en los países más industrializados. En Estados Unidos y el Reino Unido ha disminuido aproximadamente un 1% anual en los últimos cien años. En Francia y Alemania ocurre lo mismo a partir de los años veinte, y en Japón a partir de los cincuenta. Por otra parte, la intensidad energética dis-

minuye generalmente porque las ganancias en productividad aumentan el valor añadido por unidad de energía utilizada y también por los cambios estructurales de la economía. Estos cambios pueden no estar relacionados con los esfuerzos dirigidos a conseguir una mayor eficiencia energética. De modo similar, las innovaciones energéticas pueden reducir indirectamente el consumo de energía, aunque no fuese éste el propósito de la innovación. Se puede afirmar que países diferentes siguen trayectorias distintas de evolución de la demanda energética y que los países que se industrializaron posteriormente tienden a seguir la trayectoria más baja, beneficiándose de los conocimientos, técnicas y tecnologías ya desarrolladas y experimentadas.

Según el Consejo Mundial de la Energía, la economía mundial crecerá desde 1990 hasta el año 2020 a un ritmo del 3,3% anual, animada por una buena coyuntura económica que impulsan, principalmente los países en desarrollo (4,6%), y especialmente Asia. Es previsible que los países industrializados de la OCDE crezcan a una tasa del 2,4%, idéntica al conjunto de antiguos países del ámbito soviético. Tabla 7.

Por su parte, el Departamento de Energía americano considera que entre los años 2000 y 2020, la economía mundial crecerá a una tasa anual del 2,8% ,con una hipótesis de crecimiento del mundo industrializado del 2,2%, un crecimiento para los países en desarrollo del 4,6% y un crecimiento para Europa Central y la CIS del 4,0%.

Al margen de la discusión sobre las previsiones de crecimiento en los países occidentales, la mayor diferencia entre los dos estudios se centra en las posibilidades de una recuperación estable en Rusia y en los antiguos países de economía planificada. Parece claro de la observación de las hipótesis de los analistas que los países en desarrollo continuarán creciendo globalmente a un fuerte ritmo, sustentados principalmente por el auge de la economía en China y en el resto de países asiáticos del Sudeste, y por las expectativas de entrada de la primera en la Organización Mundial de Comercio. Teniendo en cuenta las expectativas de crecimiento demográfico que se comentarán más adelante, es esperable que la renta per cápita en los países OCDE crezca a un ritmo moderado, entre 1,7% y 1,8% anual, mientras que este valor será elevado en los países en desarrollo (superior al 3%). Para los países de antigua economía planificada se

mantienen las incertidumbres, aunque la administración americana apuesta por una fuerte recuperación económica y tasas de crecimiento de la renta per cápita entre el 3,4 y el 4,9%. Tabla 7.

Por su parte, el Consejo Mundial de la Energía estimaba en 1990 que la intensidad energética mundial decrecería entre el 1,3% y el 1,9% anual, muy influenciado por una reducción sostenida de los países

TABLA 7

Hipótesis empleadas en las previsiones de la WEC y del DOE (Valores de crecimiento hasta el 2020 en % anual)

	WEC		DOE
	B	B1	IEO 2000
Crecimiento económico			
Industrializados	2,4	2,4	2,2
Bloque del Este	2,4	2,4	4,0
En desarrollo	4,6	4,6	4,6
Total Mundo	3,3	3,3	2,8
Renta per cápita			
Industrializados	Moderado		1,8 a 1,7
Bloque del Este	Moderado		3,4 a 4,9
En desarrollo	Moderado (*)		3,2 a 3,3
Total Mundo			
Intensidad Energética			
Industrializados	-1,9	-1,9	-1,0 a - 1,2
Bloque del Este	-2,1	-1,2	-2,0 a - 2,9
En desarrollo	-1,7	-0,8	-0,8 a - 1,3
Total Mundo	-1,9	-1,3	— —
Población			
Industrializados	0,35	0,35	0,5 0,4
Bloque del Este	0,52	0,52	0,0 0,0
En desarrollo	1,69	1,69	1,4 1,2

(*) Excepto Asia

OCDE. Las últimas previsiones del DOE dan rangos de esta variable del –1,0% al –1,2% en los países industrializados y del –0,8% al –1,3% en los países en desarrollo. Parece más plausible esta última hipótesis que la de la WEC a la vista de que la situación de bajos precios de la energía en el mundo no está aportando fuertes incentivos a la racionalización y reducción de los consumos energéticos en base a medidas de ahorro y conservación.

Del total de la población mundial en 1990, 5.242 millones, alrededor del 50% no tiene acceso a la energía comercial ni a los servicios que presta. La gran mayoría de los más de 2.500 millones de habitantes de los países en desarrollo no utilizan otras energías que la propia del hombre, los diversos animales domésticos y la de los combustibles tradicionales. En los próximos veinte años es posible que la población mundial se incremente en 3.000 millones, de los que el 90% corresponderán a países en desarrollo. Los estudios advierten que la mayor parte de esa nueva población seguirá, como sus mayores, sin acceso a los bienes y servicios energéticos, considerados básicos hoy en día en los países desarrollados. No obstante, el mayor crecimiento de la demanda de energía en los últimos años se ha registrado en los países en desarrollo. Desde los ochenta, su demanda creció el 49%, mientras que en los países desarrollados lo hizo en un 14%. Sin embargo, la mayor parte de la energía consumida corresponde a los países desarrollados, aunque la participación de los países en vías de desarrollo continuará aumentando, y para el año 2020 aportarán la mayor parte de las emisiones gaseosas con efecto invernadero. Estas perspectivas parecen inevitables de acuerdo con las últimas tendencias. Las dos causas principales del aumento de la demanda de energía en los países en desarrollo, que en 1990 representaban el 76% de la población mundial, han sido el incremento demográfico y el desarrollo económico. Según datos de Naciones Unidas para el año 2020 cerca del 85% de la población mundial corresponderá a estos países. Suponiendo incluso un ligero incremento de la renta per cápita, el aumento del número de habitantes multiplicará enormemente la demanda mundial de energía. Las estimaciones para el año 2020 muestran que en ninguno de estos países se alcanzará la renta y consumo energético de la OCDE o CIS.

Con todo ello, la demanda esperable en el año 2020 se sitúa en un nivel de entre 13,6 Gtep. y 16 Gtep., casi un 55% más, en su valor medio, que los niveles registrados en 1997. El mayor aumento es esperable en los países en desarrollo que duplicarán su demanda desde los niveles actuales de 3,1 Gtep hasta casi 7 Gtep. Según evolucionen los precios de las materias primas energéticas, el consumo de energía primaria en los países industriales aumentará entre un 14% y un 28%, correspondiendo esta última previsión a un escenario de mantenimiento de precios del crudo en niveles parecidos a los existentes antes del repunte de precios de 1999 y 2000. Tabla 8.1.

TABLA 8.1

Previsión del consumo energético por zonas mundiales 1997-2020

	1997		2010		2020					
	Histórico		DOE		WEC B		WEC B1		DOE	
	Gtep	%	Gtep	%	Gtep	%	Gtep	%	Gtep	%
Industrializados	5,13	54	6,02	48	5,54	41	5,85	37	6,55	43
Bloque del Este	1,34	14	1,59	13	1,85	14	2,40	15	1,91	12
En desarrollo	3,10	32	5,00	39	6,21	46	7,76	49	6,86	45
Total Mundo	9,57	100	12,61	100	13,6	100	16,00	100	15,32	100

La estructura de suministro de fuentes energéticas se modificará como consecuencia de una mayor penetración del gas natural que puede llegar a alcanzar entre el 23% y el 28% de todos los suministros mundiales, a costa de la cuota del petróleo, el carbón y la energía nuclear. La utilización de petróleo sigue siendo prioritaria y su cuota de mercado está muy influida por sus precios futuros. En la hipótesis de precios altos y reducción o limitación de producciones por el cartel de la OPEP, la contribución del petróleo estaría en un 28% de la demanda mundial (estimaciones de la WEC). Un escenario de precios más bajos sólo reduciría esta cuota al 38%, dos puntos por debajo de sus valores actuales. Las hipótesis de precios del crudo afectan de manera importante al escenario de desarrollo de energías renovables y de energía nuclear. En el primer caso, el precio alto incentivaría la continuación de las políticas de ahorro, conservación y diversificación de fuentes energéticas, y las

energías renovables podrían llegar a representar el 20% del suministro mundial. En estas condiciones es previsible que la producción eléctrica con energía nuclear aumente, manteniendo su cuota relativa del 6%. En caso contrario, la tendencia actual al cierre de centrales nucleares antiguas con costes altos mantendrá el volumen total de producción o incluso determinará bajas en el entorno del 7% (hipótesis del DOE). Tabla 8.2.

TABLA 8.2

Previsión del consumo energético por energías en el mundo 1997-2020

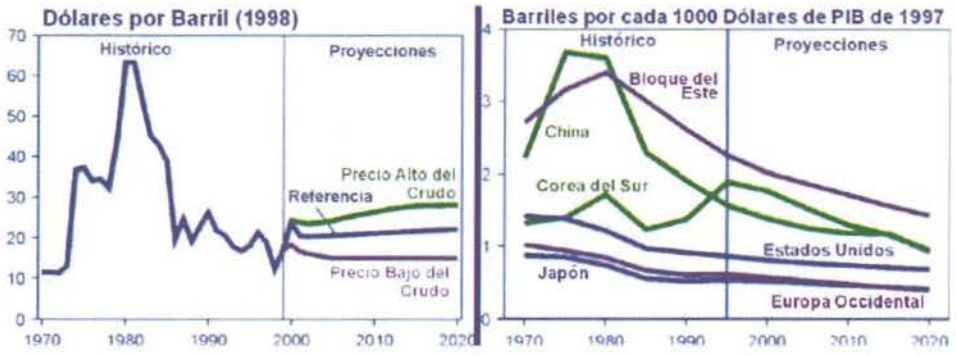
	1997		2010		2020					
	Histórico		DOE		WEC B		WEC B1		DOE	
	Gtep	%	Gtep	%	Gtep	%	Gtep	%	Gtep	%
Petróleo	3,75	40	4,81	38	3,8	28	4,5	28	5,81	38
Gas Natural	2,11	22	3,22	26	3,1	23	3,6	23	4,37	29
Carbón	2,34	24	2,91	23	3,1	23	3,8	24	3,39	22
Nuclear	0,61	6	0,66	5	0,8	6	1,0	6	0,57	4
Otros	0,77	8	1,02	8	2,8	21	3,1	19	1,18	8
Total Mundo	9,58	100	12,61	100	13,6	100	16,0	100	15,31	100

La oferta en el año 2020.

Petróleo

El petróleo es un combustible para el que no se prevé sustitución de sus usos en el sector transporte en un horizonte próximo. El resto de sus aplicaciones en usos térmicos está muy condicionada por las hipótesis que se adopten para los precios del barril de petróleo, ya que la experiencia demuestra que su sustitución por otros combustibles es un proceso factible y relativamente rápido. La situación actual de altos precios del crudo ha estado motivada por una reducción de las producciones de los países de la OPEP, simultánea con la reducción del resto de los productores, que con costes de producción más altos y tras una larga temporada de precios bajos no han encontrado incentivos a la puesta en el mercado de nuevas reservas o al desarrollo de nuevas tecnologías de

exploración y/o recuperación de campos marginales. Las previsiones de la WEC y del DOE indican que aunque en el futuro continuarán los episodios de volatilidad de los precios del crudo, debido principalmente a circunstancias políticas y económicas imprevistas, las posibilidades de sustitución y las posibilidades de desarrollo de nuevas iniciativas de exploración de campos y de exploración en aguas profundas harán que los precios bajen de los niveles del año 2000 en los siguientes años, para luego aumentar suavemente a un 0,4% de media anual hasta el año 2020. Figura 1. En las producciones, los países de la OPEP relajarán sus recortes y el resto, países no-OPEP, aumentarán su producción.



FUENTE: *DOE*.

Figura 1. Hipótesis de precios de petróleo en tres escenarios (DOE, IEO, 2000). Intensidad de consumo de petróleo por zonas geográficas.

En estas condiciones, se estima que la demanda mundial de petróleo alcanzará un nivel de 113 millones de barriles por día en el año 2020. Es necesario, por tanto, un incremento de la capacidad de producción mundial de casi 40 millones de barriles/día, o lo que es equivalente, un 54,5% respecto a los niveles de producción de 1996. La cuota de mercado de este combustible respecto al resto de energías primarias descenderá ligeramente hasta un nivel del 38%.

Los países industrializados continuarán siendo los principales usuarios en el año 2020, con una demanda de 54,5 millones de barriles/día, y un crecimiento sobre 1997 del 26,5%. Se espera que los países en desarrollo sean los que aporten una mayor componente al crecimiento

de la demanda, alcanzando un consumo del 90% del de los países industrializados en al año 2020. Para los países del antiguo bloque soviético se estima que su consumo permanecerá estabilizado en la próxima década y crecerá ligeramente entre los años 2010 y 2020 hasta alcanzar el nivel de demanda existente en los años noventa.

En la mayoría de los países, la intensidad del uso del petróleo (crudo consumido por unidad de PIB) decrece con el tiempo. Los países industrializados, especialmente Europa Occidental y Japón, tienden a niveles más bajos de intensidad, ya que sus economías son más eficientes energéticamente, más diversificadas en el suministro de combustibles y más orientadas al sector servicios. En los países en desarrollo, los niveles de intensidad decrecerán más rápidamente en la medida en que las mejoras de eficiencia penetrarán también más rápidamente. Del total del incremento del consumo en los países desarrollados, un 94% se destinará al sector transporte, en donde no se prevén alternativas económicas hasta muy avanzado el período de la previsión. En los países en desarrollo, sin embargo, el uso del petróleo en otros sectores distintos del transporte supondrá el 40% de su incremento de consumo de crudo, debido en parte a la sustitución de combustibles sin valor comercial (madera, residuos agrícolas, etc..) por productos petrolíferos a medida que aumenan los ingresos, maduran las infraestructuras energéticas y, consecuentemente, el consumidor demanda más comodidad en sus necesidades energéticas. En cualquier caso, el país que tendrá un mayor aumento en la demanda es Estados Unidos, aunque el crecimiento más rápido (3,3% anual) se prevé en México debido a su previsible expansión económica y demográfica. El crecimiento en la Europa Occidental será a un ritmo más bajo que en la última década, 0,4% anual, atribuible al sector transporte, ya que en los otros sectores el consumo de petróleo decrecerá como consecuencia de la penetración del gas en los sectores térmicos y de producción eléctrica.

Las previsiones indican que más de dos tercios del incremento en la demanda en las próximos dos décadas será aportado por aumentos de la producción de países miembros de la OPEP. Es importante señalar que existe una fuerte discusión en este punto entre los distintos analistas; algunos indican que la estrategia de la OPEP será conseguir un alza importante de los precios manteniendo la capacidad actual de produc-

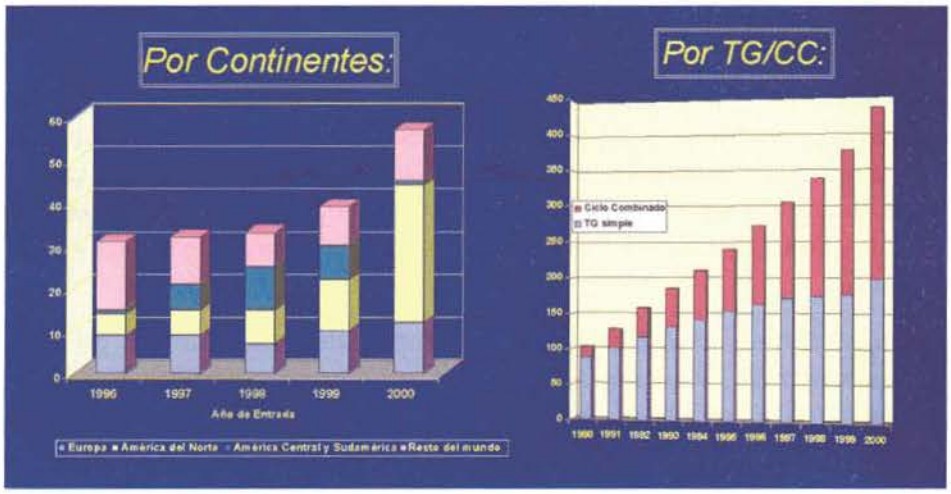
ción; la otra perspectiva, utilizada para estimar los resultados que se están mostrando considera que las altas tasas de retorno sobre las inversiones que están consiguiendo los productores de la OPEP (especialmente los de la zona del Golfo Pérsico) incentivarán más el aumento de las producciones manteniendo un entorno de precios bajos. Por ejemplo, se estima que los costes de producción en esta área son inferiores a 1,50$/barril y que la inversión necesaria para aumentar un barril/día su producción son 5.000$ por término medio. A niveles de precios entre 20 y 25$/barril los costes totales de desarrollo y operación medios en los próximos 20 años serán inferiores al 20% sobre la cifra de ventas. En esta zona, además, los ratios reservas/producción son altos, en términos generales, con valores superiores a 85 años. Esta situación no es generalizable a los otros productores fuera del Pérsico, aunque con estas hipótesis conservadoras se estima que los márgenes sobre las inversiones pueden estar en el entorno del 30%.

Por la parte de los países fuera de la OPEP se espera que continúe el aumento de producción basado principalmente en el desarrollo de nuevas tecnologías de exploración y producción, en los esfuerzos de reducción de costes, y en una política de incentivos fiscales de los gobiernos para atraer inversores en exploración y desarrollo. Los mayores productores continuarán siendo el Reino Unido (3,1 millones de barriles/día), Noruega (3,7 millones de barriles/día) , México (4 millones de barriles/día), la CIS con los nuevos pozos en la cuenca del Caspio (7,5 a 13,1 millones de barriles/día) y China (3,6 millones de barriles /día). Otros países que superarán la producción de 1 millón de barriles/día son Canadá, Brasil, Colombia, Argentina y Angola.

Gas natural

Todas las previsiones señalan que el gas natural será la energía primaria cuyo consumo crecerá más rápidamente, doblando su utilización en el período 1997-2020. Se espera que el aumento de la demanda sea generalizado en todas las regiones excepto en Oriente Medio y en Africa. Las razones para esta situación son diversas, aunque las más importantes son el alto rendimiento y flexibilidad de su utilización en

centrales eléctricas de ciclo combinado (40% frente al 30% en centrales de carbón), su buen comportamiento medioambiental debido al bajo nivel de emisiones de óxidos de azufre, partículas y dióxido de carbono en la combustión y la gran diversificación de la situación de las reservas gasistas en el mundo. Figura 2.



FUENTE: *Gas Natural, S. A.*

Figura 2. Entradas en servicio de turbinas de gas/ciclo combinado.

En los países industrializados se prevé que su consumo crezca a un ritmo del 2,4% anual. El porcentaje de utilización en la producción eléctrica pasará del 20% en 1997 al 30% en el año 2020. Las estimaciones actuales consideran que el consumo de gas crecerá a ritmo del 1,6% anual en Estados Unidos y Canadá, del 2,9% anual en la Unión Europea y del 3,8% en los países industrializados del Este de Asia. En la primera zona la utilización para producción eléctrica en centrales de ciclo combinado es responsable de la mayor parte del incremento en su consumo, ya que aproximadamente el 90% de la nueva capacidad de generación eléctrica está prevista con esta tecnología. En Europa, un tercio del suministro procede de productores fuera de la región, principalmente la antigua Unión Soviética y Argelia. La principal actividad en esta zona está centrada en la extensión de la infraestructura gasista. Además de la

conexión española por el estrecho de Gibraltar, se espera que en los próximos años entren en funcionamiento, un nuevo ramal entre Noruega y Alemania, un nuevo ramal del gaseoducto que une Rusia con Alemania y una nueva conexión entre Libia e Italia. En el caso de Japón, la futura demanda de gas natural está influenciada por las incertidumbres de expansión de sus planes nucleares después del accidente de Tokai-Mura, y el impacto que éste tenga sobre la futura aceptación pública de la energía nuclear.

Fuera del ámbito industrializado, las demandas más importantes se producirán en China y en la India. Ambos países, con una gran demografía, grandes economías y posiciones industriales emergentes, consumen solamente el 15% del gas natural en la región. Su desarrollo se espera que se efectúe en base a grandes importaciones en forma de gas licuado .

Las reservas totales de gas se han duplicado en los últimos 20 años. En este período, las estimaciones han crecido muy rápidamente en la antigua Unión Soviética y en los países en desarrollo del Oriente Medio, Iberoamérica y en la zona asiática del Pacífico. Geográficamente, las reservas de gas están más repartidas que las reservas de petróleo. Oriente Medio, que tiene el 65% de las reservas de crudo solo dispone del 32% de las de gas. La antigua Unión soviética con el 6% de las reservas mundiales de petróleo, posee el 40% de las reservas probadas de gas, la mayor parte en la CIS. Son, por cantidad, las mayores del mundo, más del doble de Irán, el segundo productor. Los ratios de reservas a producción son superiores a 100 años en el Oriente Medio y en Africa y están en torno a 80 años en la antigua Unión Soviética. Iberoamérica tiene un ratio alto, 71,5 años y Norte América y Europa tienen ratios bajos, 11,4 y 18,3 años respectivamente. A nivel mundial el ratio es 63,4 años, superior a los 41 años del petróleo.

En general, los patrones de consumo de gas para los próximos veinte años están marcados por la cercanía relativa de los campos gasísticos a los centros de consumo. Como se ha indicado, en los casos de Europa y América del Norte, el suministro requiere la construcción de grandes infraestructuras de transporte desde la CIS y desde Canadá y México. En los otros centros de consumo, el aumento de la demanda requerirá

instalaciones de recepción y regasificación de gas licuado y en algunos casos el desarrollo de las tecnologías GTL (gas a líquido).

Carbón

El carbón es una importante fuente energética, a pesar de que ha perdido cuota de mercado a favor de los productos petrolíferos, el gas natural y la energía nuclear. En 1996, el carbón suponía el 24% del total de energía primaria consumida en el mundo y el 36% de todas las energías utilizadas para producir electricidad. A largo plazo, es razonable que el peso del carbón descienda ligeramente desde el 24% a aproximadamente el 22% en el año 2020. Esta opinión está sustentada en el previsible comportamiento de los países asiáticos en desarrollo, en donde el carbón continúa dominando muchos de los mercados nacionales. Dos de estos países, China y la India, absorberán un tercio del incremento del consumo mundial de energía, y el 97% del incremento de la demanda de para el año 2020. El carbón para generación eléctrica acaparará todo el aumento de la demanda, que, en general, perderá cuota en todos los mercados energéticos (industrial, doméstico, etc.). En especial se prevé que el consumo de carbón siderúrgico decrezca moderadamente, como resultado de los avances en el desarrollo de las tecnologías de fundición con hornos eléctricos y la sustitución de acero por otros materiales.

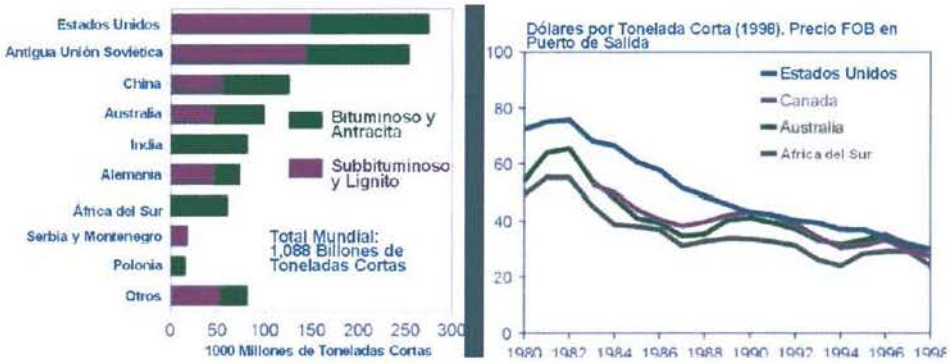
La gran incertidumbre sobre el consumo de carbón reside en las restricciones medioambientales que se impongan en el futuro: las derivadas de la ratificación de los acuerdos de Kioto, las exigencias más estrictas en la emisión de gases con efecto invernadero y las regulaciones nacionales más limitativas en las emisiones de óxidos de azufre, partículas u óxidos de nitrógeno. Tomando como referencia el primer contaminante, se considera que las emisiones de dióxido de carbono por unidad de energía obtenida con carbón son un 80% más elevadas que si se obtuviera la misma energía con gas natural y un 20% más altas que si se produce con fuel-oil. Globalmente, el carbón será la segunda fuente de emisiones de dióxido de carbón en el año 2020, con un 34% de todas las emisiones, detrás de las emisiones procedentes de la combustión de

derivados del petróleo (41%) y por delante de las resultantes de la utilización de gas natural (25%).

Para el año 2020, el consumo de carbón en el mundo será de 6.895 millones de toneladas, un 43% más que en 1996. Este aumento será del 11% en el conjunto de los países industrializados, con una distribución desigual según áreas geográficas. Mientras que se prevé un ligero descenso, el 1,1%, en la demanda de carbón en la Europa Occidental, el consumo en Japón crecerá un 38,5% a una tasa anual del 1,4 % y el consumo en Estados Unidos aumentará un 24,4%. En este último país, el carbón suministra actualmente el 53% de la energía primaria para producción de electricidad y se prevé que a largo plazo el porcentaje descienda ligeramente hasta el 49%, desplazado, básicamente por el gas natural. Como se ha anticipado, los mayores incrementos se producirán en China y en la India, en donde son esperables crecimientos económicos a largo plazo superiores al 5%. En el primer caso, el carbón es la primera fuente energética de suministro industrial debido a las limitadas reservas de gas y petróleo. El fuerte desarrollo que viene experimentando este país conllevará necesidades de suministro adicional de electricidad que en centrales térmicas de carbón requerirá la construcción de 181.000 MW. nuevos. Por su parte, el sector industrial será el mayor demandante de esta energía, un 59% del consumo, destinado, principalmente, al desarrollo de industrias básicas. En la India, el aumento previsto del consumo de carbón será imputable al desarrollo de nuevas centrales de carbón, que en la actualidad se cuantifican en 52.000 MW adicionales.

Las reservas mundiales recuperables de carbón se cifran en casi un billón de toneladas, que a los ritmos actuales de consumo permitirían abastecer la demanda mundial durante 200 años. Aunque los depósitos de carbón están distribuidos por todo el mundo, el 60% de las reservas recuperables están localizadas en tres regiones: Estados Unidos (25%), la CIS (23%) y China (12%). Estas zonas, junto con Australia, India, Alemania y Sudáfrica, que disponen de un 29% adicional proporcionaron el 81% de toda la producción mundial. Figura 3.

La cantidad de carbón negociada en los mercados internacionales es pequeña en comparación con el consumo total. Las estimaciones al año



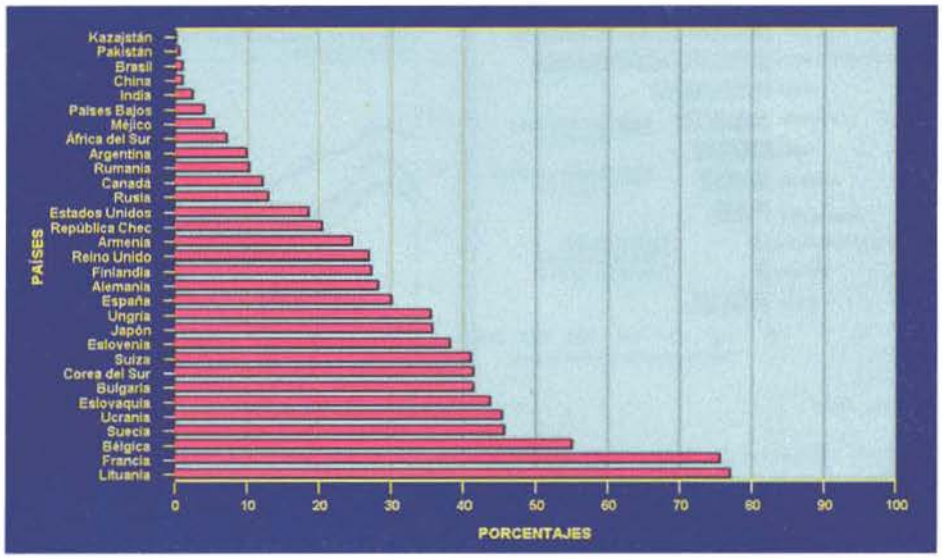
FUENTE: *DOE*.

Figura 3. Reservas de carbón en el mundo. Evolución de los precios de exportación de carbón térmico.

2020 muestran que el volumen de comercio internacional continuará estabilizado en un 10% del total del consumo, aunque se espera un cambio en la estructura de los principales ofertantes. En los últimos años los mercados internacionales han sufrido cambios significativos. En conjunto ha habido una bajada de los precios del carbón importado que ha beneficiado a los productores de electricidad y de acero y ha aumentado la competitividad de este tipo de generación eléctrica. Por el contrario, los exportadores han visto reducidos sus ingresos y es previsible que en el medio plazo existan incrementos en los precios para poder afrontar algunas de las infraestructuras de extracción y transporte de este mineral desde los países de origen. Figura 3.

Nuclear

La energía nuclear proporciona actualmente el 16% de toda la electricidad producida en el mundo. Existen centrales nucleares en 32 países, aunque la aportación a la producción eléctrica varía ampliamente. Sólo nueve países superan la proporción del 40% de su suministro eléctrico (Lituania, Francia, Bélgica, Suecia, Ucrania, República Eslovaca, Bulgaria y Corea del Sur). Figura 4.



FUENTE: *OIEA*.

Figura 4. Porcentaje de participación de la energía nuclear en la producción de electricidad en distintos países.

Las perspectivas de crecimiento de la energía nuclear son inciertas, a pesar de que se estima que el consumo eléctrico continuará creciendo a una tasa del 2,6% anual hasta el año 2020. A largo plazo, sólo los países en desarrollo mantendrán un crecimiento continuado de esta fuente de energía. Las previsiones actuales apuntan a que en los próximos diez años la capacidad nuclear aumentará en 20.000 MW para decaer en la próxima década en aproximadamente 60.000 MW.

A corto plazo, los planes de expansión de la capacidad nuclear en Oriente ocasionarán un aumento de la potencia instalada total que posteriormente será compensado por la clausura de centrales en Estados Unidos y en otros países occidentales. En condiciones medias, se estima que los países asiáticos en desarrollo añadirán 30.000 MW de nueva potencia, mientras que las retiradas en los países occidentales sumarán 64.000 MW.

El desarrollo de la energía nuclear es el más incierto de estimar en las próximas décadas. La oposición pública a su implantación y las importantes necesidades financieras para la construcción de nuevas cen-

trales son los elementos que actúan más en su contra. En concreto, en los últimos dos años han ocurrido varios hechos que pueden afectar considerablemente a los planes de expansión o mantenimiento de la capacidad instalada en los países en donde se han registrado:

— El accidente de Tokaimura, en Japón, en donde se produjo una reacción en cadena mantenida al violar varios trabajadores las normas de seguridad en una planta de preparación de uranio, ha sido clasificado como el tercer peor accidente en la historia nuclear después de Chernobyl y Three Mile Island. En el accidente resultaron afectadas 69 personas con dosis por encima de los niveles admisibles, de las cuales dos han fallecido. La alarma producida entre la población pudiera originar problemas para conseguir los objetivos actuales de la industria de extender su capacidad instalada desde 43.700 MW. (53 unidades) hasta 53.500 MW en el año 2010 (10 reactores más).

— La cuestión nuclear ha sido un tema clave en las negociaciones de adhesión de nuevos países de la Europa Oriental a la Unión Europea. Los acuerdos con los países candidatos a la incorporación a la Unión Europea, Bulgaria, Lituania, República Checa, Eslovaquia, Eslovenia, Rumanía, Hungría, Letonia, Estonia y Polonia tuvieron como condición la adecuación de las plantas nucleares de diseño soviético a los niveles de seguridad occidentales, o , en caso de no ser posible, su cierre y desmantelamiento. Esto es especialmente importante en los tres primeros países , en donde se espera que en los próximos años se clausuren las centrales de Kozloduy, Ignalina y Bohunice. Estos países recibirán ayudas financieras de la Comisión Europea y del Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo como parte de los programas de desmantelamiento.

Respecto a los avances, en estos años la energía nuclear presenta dos cuestiones claves que podrían conformar un escenario más positivo para los próximos años:

— La liberalización del mercado de electricidad en Estados Unidos promovió en los primeros años un cierre anticipado de las centrales nucleares más antiguas o con costes más elevados. Sin embargo, en los últimos años esta tendencia se ha modificado a favor de una reestructuración de la propiedad de las centrales americanas que estaba muy

fragmentada. Como alternativa, se está produciendo la venta de reactores a grandes grupos especializados en la producción nuclear, que podría resultar en una consolidación del sector y una estructura dominada por pocas empresas que posean y operen un gran número de reactores a costes competitivos.

— La energía nuclear es la fuente primaria más apta si se quieren estabilizar o reducir las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera sin reducir los niveles de consumo energético. Es previsible, que en el futuro la aceptación pública de esta energía se modifique por esta ventaja ambiental. En todo caso, sería deseable que los costes comparativos de las distintas energías utilizadas en la producción eléctrica internalicen este factor, con la consiguiente mejora en los costes relativos de la energía nuclear.

Respecto a la futura situación regional, se estima que además de los mencionados incrementos de potencia en Japón, se producirán adiciones significativas de potencia en Corea del Sur, entre 7.000 MW y 8.000 MW. y en China, con aproximadamente, otros 8.000 MW. La tendencia en Europa Occidental es la contraria, y aunque la energía nuclear representa el 36% de toda la generación eléctrica nuclear en el mundo, la mayoría de los países han parado los programas nucleares. Solamente existen planes de incremento de potencia en Francia, que propone la construcción de nuevos grupos, Suiza que pretende aumentar la potencia de las centrales existentes y Finlandia que podría tomar la decisión de construir una quinta central. La situación es similar en la zona de los antiguos países de economía planificada en donde las limitaciones financieras serán además de las cuestiones de seguridad el mayor freno al desarrollo de nuevas centrales nucleares. Por su parte, es previsible que en el año 2020, Cuba, Irán, Egipto y Turquía se incorporen a la lista de países que cuentan con reactores nucleares.

Con el consumo actual de uranio, unas 55.000 toneladas por año, las reservas recuperables de este mineral a un coste inferior a 80 $/kg proporcionarían el funcionamiento de las centrales durante un período de 40 años. Si se incluyen otras reservas, explotables a costes inferiores a 130 $/kg, el período se podría aumentar a 65 años. Este cálculo se ha realizado en base al actual ciclo de combustible nuclear, ciclo abierto,

de poca eficacia. Si se considera el uso de instalaciones de reprocesado y reciclaje de uranio y plutonio como nuevo combustible, se podría incrementar el número de años en un 50%. Con la utilización de reactores reproductores, se incrementarían las cantidades disponibles de uranio y también, de forma importante, su utilización. Tabla 9. A partir de aquí, queda abierta la posibilidad de una gran generación con energía nuclear a largo plazo.

TABLA 9

Reservas de uranio

	Megatoneladas de U	*Equivalencia en Gtep*	
		Reactores térmicos	*Reactores rápidos*
Conocidas	3,7	3,7	1.850
Por descubrir	13	130	6.500
Total (aproximado)	17	167	8.400

FUENTE: Se ha tomado como base Uranium Resources . Production and Demand, NEA/IAE, 1992; Estimaciones WEC para los recursos no recogidos en ese Informe.

Energías Renovables

El desarrollo de las energías renovables está muy ligado a la evolución esperada de los precios de las energías primarias convencionales. También, a las medidas de protección medioambiental y a las restricciones de este tipo que se impongan a los combustibles fósiles. Teniendo en cuenta las hipótesis moderadas adoptadas sobre evolución de los precios del crudo y el limitado efecto de las reducciones de emisión de dióxido de carbono propuestas en el Protocolo sobre Cambio Climático de Kyoto, los analistas consideran que la evolución de este tipo de energía hasta el año 2020 será lento, y su aportación al aprovisionamiento energético a escala mundial será reducido manteniéndose en los

valores actuales. La biomasa tradicional (leña, residuos agrícolas, estiércol) constituía en 1990 el 60% de la energía renovable disponible; si se tiene en cuenta que la energía hidraúlica representa el 30%, ambas energías cubren el 90% del total. Las posibilidades de aumento de la participación de las energías renovables están muy condicionadas por las posibilidades de desarrollo de las otras formas de energías renovables: solar, eólica, geotérmica, biomasa artificial, etc. Debido a los costes de I+D+D de estas energías, se suele considerar que en las hipótesis más optimistas, la energía hidraúlica y la biomasa continuarán proporcionando más del 50% del suministro con energías renovables.

Adicionalmente, las nuevas energías renovables necesitan capacidad extra de almacenamiento para producir energía cuando las condiciones no son favorables; éste es el caso cuando la producción depende de que haya luz solar, viento o corrientes de agua. Durante la próximas décadas, este problema será el mayor impedimento para la instalación de este tipo de "nuevas" renovables en los puntos en donde no existan conexiones a la red. La aplicación de estas energías será muy interesante en los países que carecen de reservas de combustibles fósiles, con dificultades de divisas para importar estas energías o para desarrollar energía nuclear, para importar gas natural de fuentes lejanas. En estos casos, existe un importante potencial en aplicaciones locales.

Sólo mediante un apoyo importante de los gobiernos se conseguirirá acelerar el desarrollo de las energías renovables. El apoyo es preciso desde la fase de I + D hasta las plantas de demostración. También se considera que al igual que la energía nuclear, las nuevas energías están infravaloradas al no incluirse en el coste total de sus competidoras los costes derivados de su impacto ambiental.

En este contexto, es importante destacar los esfuerzos realizados por los países occidentales para el desarrollo de potencia adicional eólica. En los últimos años se efectuaron instalaciones de generadores eólicos por una cuantía de 3.600 MW. que sitúa el total conectado a redes eléctricas extensas en 13.400 MW. Destaca que Alemania, Estados Unidos y España contribuyeron con un 40% de la nueva potencia instalada. En Europa Occidental se espera que las energías renovables aumenten su producción a un ritmo del 1,9% anual. Destaca también, la

tendencia a la generalización de las políticas energéticas que promueven la aplicación del ahorro conseguido mediante medidas de eficacia energética en subsidios a la implantación de instalaciones que produzcan electricidad con energías renovables, aunque las teorías modernas ponen más énfasis en la promoción de las nuevas energías mediante la penalización de las emisiones de dióxido de carbono, ya que se considera que a medio plazo el ahorro económico conseguido por conservación de la energía se utilizará para demandar más energía y su consumo en nuevos dispositivos.

La posibilidad de expansión de la energía hidroeléctrica en el mundo occidental parece pequeño, dado que la mayoría de los recursos están en explotación y que en la mayoría de los casos las grandes centrales se consideran causante de impactos ambientales importantes. En un futuro próximo, las grandes posibilidades están centradas en China, en donde actualmente se construyen 18.000 MW. en la presa de Tres Gargantas y están previstas otros 12.000 MW. en Xiluodu en el centro del país y otra de 6.000 MW en Xiangjaba en el sudoeste.

IV. SITUACIÓN Y PERSPECTIVAS ESPAÑOLAS

Situación española.

El consumo total de energía primaria en España alcanzó un valor de 121 Mtep en 1999. El crecimiento respecto al año anterior fue un 6,42%, muy superior a la tasa anual de crecimiento en el decenio 1999/1990, que se situó en el 3,5%. Tabla -10.

La estructura de suministro de energía primaria en España en 1999 está dominada mayoritariamente por el consumo de petróleo, que representa el 54% del total. Esta cifra está ligeramente por encima de los valores registrados en los años 80, si bien lejos de los porcentajes del 70% que se producían a finales de los años 70 y comienzos de la siguiente década. El carbón es la segunda fuente de suministro con una participación del 18% y una tendencia decreciente, aunque con alternancias según las condiciones de hidraulicidad en la generación de energía eléctrica de cada año. La energía nuclear, que aporta el 13% del balance,

TABLA 10

Balance resumen de energía en España

	1985	1988	1990	1995	1998	1999	90/85	85/90	98/95	99/98	99/90
Producción E. Primaria (Mtep.)											
Carbón	13,94	11,20	11,68	10,17	9,10	8,60	-3,48	-2,73	-3,64	-5,49	-3,34
Petróleo	2,17	1,47	0,79	0,78	0,50	0,30	-18,30	-0,25	-13,78	-40,00	-10,20
Gas Natural	0,23	0,80	1,27	0,38	0,10	0,10	40,74	-21,44	-35,91	0,00	-24,60
Nuclear	7,38	13,02	13,70	14,30	15,40	15,40	13,17	0,86	2,50	0,00	1,31
Hidráulica	2,69	3,04	2,19	2,01	3,10	2,20	-4,03	-1,70	15,54	-29,03	0,05
Otras renovables	3,84	3,84	3,77	3,79	4,00	4,30	-0,37	0,11	1,81	7,50	1,47
Total	30,25	33,38	33,40	31,43	32,20	30,90	2,00	-1,21	0,81	-4,04	-0,86
Importaciones netas (Mtep.)											
Carbón	5,23	5,00	7,04	9,15	8,60	12,30	6,12	5,38	-2,04	43,02	6,40
Petróleo	39,10	45,63	49,16	58,36	61,20	64,50	4,69	3,49	1,60	5,39	3,06
Gas Natural	2,14	2,59	3,69	7,52	11,70	13,40	11,51	15,30	15,87	14,53	15,41
Electricidad	-0,10	-0,11	-0,04	0,39	0,10	-0,10	-16,74	-257,69	-36,47	-200,00	10,72
Total	46,37	53,11	59,85	75,42	81,60	90,10	5,24	4,73	2,66	10,42	4,65
Consumo (Mtep.)											
Carbón	19,48	15,72	18,94	19,52	17,70	20,90	-0,56	0,61	-3,21	18,08	1,10
Petróleo	38,27	44,41	45,54	54,55	61,70	64,80	3,54	3,68	4,19	5,02	4,00
Gas Natural	2,35	3,35	4,97	7,72	11,80	13,50	16,16	9,21	15,19	14,41	11,74
Nuclear	7,38	13,02	13,70	14,30	15,40	15,30	13,17	0,86	2,50	-0,65	1,23
Hidráulica	2,69	3,04	2,19	2,01	3,10	2,20	-4,03	-1,70	15,54	-29,03	0,05
Otras renovables	3,74	3,74	3,74	4,18	4,00	4,30	0,00	2,25	-1,46	7,50	1,56
Total	73,91	83,28	89,08	102,28	113,70	121,00	3,80	2,80	3,59	6,42	3,46
Generación eléctrica (TWh)											
Nuclear	28,04	50,46	54,26	55,45	59,00	58,90	14,11	0,43	2,09	-0,17	0,92
Hidráulica	33,03	36,36	26,18	24,83	34,00	24,00	-4,54	-1,05	11,04	-29,41	-0,96
Térmica	66,27	52,86	71,28	86,76	80,00	101,30	1,47	4,01	-2,67	26,63	3,98
Total	127,34	139,68	151,72	167,04	173,00	184,20	3,57	1,94	1,18	6,47	2,18
Demanda final de energía (Mtep)											
Carbón	4,25	3,45	3,52	2,23	2,55	2,30	-3,70	-8,72	4,57	-9,80	-4,62
Petróleo	28,10	32,67	33,60	39,84	53,70	54,80	3,64	3,47	10,46	2,05	5,59
Gas	2,55	3,75	4,90	6,32	9,70	10,70	13,95	5,22	15,35	10,31	9,06
Electricidad	8,84	9,82	10,82	12,12	14,30	15,30	4,12	2,30	5,67	6,99	3,92
E. renovables	3,78	3,78	3,68	3,26	3,50	4,20	-0,53	-2,39	2,40	20,00	1,48
Total	47,52	53,47	56,52	63,77	83,75	87,73	3,54	2,44	9,51	4,24	4,95
Intensidad energética (tep/MECU)	235,60	231,90	228,60	245,50	247,20	253,70	-0,60	1,44	0,23	2,63	1,16

FUENTE: Comisión Europea y elaboración propia.

es la tercera componente con un fuerte crecimiento durante los años ochenta, y una posterior estabilización de sus producciones en la década de los 90. El gas natural es la energía con mayor penetración con una participación en 1999 del 11,1%. El crecimiento en su consumo anual ha sido superior al 15% desde 1985 y ha alcanzado el 33,4% entre 1995 y 1998. La energía hidráulica está estabilizada durante los últimos veinte años debido principalmente a que la mayor parte del potencial técnicamente aprovechable está ya en explotación, y las diferencias en sus valores en distintos años se deben principalmente al dispar régimen de lluvias en nuestro país. Las energías renovables que suponen el 3,5% del balance presentan una evolución al alza con porcentajes de crecimiento sostenidos por encima del 2,2% anual desde comienzos de los años noventa, inferiores, sin embargo, al crecimiento de la demanda energética en este período.

Entre las energías finales, los productos petrolíferos continúan siendo la energía dominante con un 63% del total de aprovisionamientos. La electricidad y el gas aparecen como energías de gran penetración con fuertes crecimientos en su participación y una situación de gran competencia, mientras que la utilización del carbón en usos finales es cada vez más reducida. Se espera que esta tendencia continúe en el futuro, debido principalmente a los planes de reconversión de la minería española y al clima internacional de abundancia de materias primas energéticas a precios bajos.

La demanda de gas natural en España sigue creciendo de forma sostenida. Durante 1999 las ventas de este combustible superaron la cifra de 150.200 millones de termias, lo que representa un incremento del 14,4 % sobre el año anterior. De esta cifra un 72% se ha dirigido a satisfacer la demanda del mercado industrial, lo que supone un crecimiento en este sector del 14%. En el sector doméstico-comercial, el crecimiento de la demanda ha sido del 20% respecto al año anterior. La demanda de gas natural para centrales térmicas, ha crecido también un 15%.

Es importante señalar que la demanda de electricidad continúa creciendo a tasas importantes. En concreto en 1999, esta variable aumentó un 6,55% sobre 1998. La producción de electricidad, que en 1999 totalizó 175.252 millones de kwh., tiene sus principales componentes en la

generación con carbón (43%) y en la generación nuclear (34%), aunque destaca que las producciones de los productores independientes, generadas en gran parte con energías renovables (solar, eólica, minihidraúlica, aprovechamiento de residuos, etc.), alcanzan ya el 13% de la demanda, y han crecido el último año un 23%.

España es un país importador de energía, especialmente en la parte de los combustibles fósiles. La independencia energética en la última década ha oscilado entre el 25 % y 30%, con tendencia a disminuir, debido principalmente al aumento en las importaciones de petróleo y gas natural y la correspondiente disminución en los consumos de carbón nacional.

La intensidad energética, medida como consumo energético por unidad de PIB, tiene un comportamiento irregular, con disminuciones continuadas en el período 1985 a 1990, valores prácticamente nulo de media en el período 1995 a 1998 (0,98%) y un repunte en el año 1999 del 2,63%

Perspectivas futuras

A medio plazo la evolución del sector energético español estará condicionada por los principios básicos que determinan que la energía debe contribuir a la competitividad de los sectores productivos y por tanto a la reducción de costes al consumidor final, con calidad adecuada y limitando la intervención estatal a lo estrictamente necesario para salvaguardar el interés público. En paralelo, es necesario mejorar la eficiencia energética, promocionar las energías limpias y reducir las emisiones de dióxido de carbono de forma que en el futuro la evolución del consumo y producción de energía se alinee con las crecientes preocupaciones medioambientales. Las nuevas tecnologías energéticas tienen una gran importancia en la consecución de nuevas mejoras en los rendimientos de producción y de utilización de la energía, por lo que serán objeto de estrategias activas de la Administración.

Actualmente, el sector energético español está inmerso en un amplio proceso de liberalización o desregulación que pretende fomentar los mecanismos de mercado en aquellas fases como la producción de pro-

ductos energéticos, su comercialización, etc., que son susceptibles de funcionar en régimen de competencia y contribuir a la reducción de los precios de los productos finales a los consumidores. Por otra parte, este proceso está dentro de las directivas y tendencias de la Unión Europea y promoverá a medio plazo que el mercado energético español, y por tanto las pautas de consumo y utilización de la energía estén condicionadas por un mercado y una capacidad de suministro más amplias.

En los últimos años se ha desregulado el mercado de la electricidad, el mercado de productos petrolíferos y la comercialización de gas natural. Recientemente, el Gobierno ha anunciado su intención de extender estas medidas al abastecimiento de este combustible de manera que se permita el acceso a la red de gaseoductos a las empresas distribuidoras de gas. El consumo de carbón, que se produce principalmente en las centrales eléctricas, está condicionado dentro de los objetivos de competitividad, a las directrices del Plan de la Minería con término en el año 2005. En cuanto a las energías renovables, España se ha fijado el objetivo de la Comisión Europea de conseguir que su aportación al balance energético llegue al 12%. Para ello, se han adoptado medidas de apoyo recogidas en la Ley 54/97 del Sector Eléctrico y en el Plan de Fomento de las Energías Renovables que pretende duplicar el porcentaje de dichas fuentes en la estructura energética española en el año 2010.

Como se ha indicado anteriormente, la intensidad energética española creció en los últimos años. Se espera que cambie sustancialmente en el futuro, debido fundamentalmente a la propia evolución de la economía, las nuevas ofertas energéticas, la introducción de nuevas tecnologías y la progresiva saturación de algunos mercados. Las previsiones indican para el año 2010 la demanda de energía primaria crecerá alrededor del 10,7% sobre 1999, con un incremento del PIB en este período del 28,7%. Tabla 11.

En estas condiciones, seguirá siendo predominante el peso de los hidrocarburos, que proporcionarán el 68% del total del consumo de energía primaria. El gas natural será la fuente que tenga un mayor crecimiento con tasas anuales en torno al 6%. El consumo de petróleo aumentará de forma moderada, menos del 1% anual, manteniendo un peso en la estructura de alrededor del 50% del total, debido, principal-

TABLA 11

Previsiones de consumo de energía primaria en España

	1998		*2010*		*1998/1990*	*2010/1998*
	ktep	*Estructura %*	*ktep*	*Estructura %*	*Anual*	*Anual*
Carbón	17.659	15,5	9.920	7,4	-0,80	-4,69
Petróleo	61.670	54,1	67.260	50,0	3,25	0,73
Gas natural	11.810	10,4	23.915	17,8	11,35	6,05
Nuclear	15.376	13,5	16.410	12,2	1,05	0,54
Hidráulica	3.103	2,7	3.440	2,6	4,37	0,86
Otras energías renovables	4.035	3,5	13.361	9,9	0,90	10,49
Saldo eléctrico (Imp. Exp.)	293	0,3	194	0,1	—	—
Total	113.952	100,0	134.500	100,0	2,76	1,39

FUENTE: MIE.

mente, a que se mantendrá su utilización como combustible en el sector del transporte y en sectores no energéticos.

El consumo de gas natural continuará su tendencia actual de fuerte crecimiento hasta alcanzar el 18% del total de suministros primarios en al año 2010. A corto y medio plazo, su principal utilización será la producción de electricidad, tanto en centrales de ciclo combinado como para cogeneración, lo que parece coherente con las solicitudes actuales de nueva potencia con gas que a finales de 1999 sumaban 18.890 MW. A más largo plazo, el crecimiento adicional de la demanda de gas natural podría venir condicionado por su aplicación a otros usos como, por ejemplo, combustible en el sector de automoción.

El consumo de carbón continuará su tendencia a la baja, tanto en España como en el conjunto de la Unión Europea, debido a su sustitución en la producción eléctrica por gas. Se estima que en el año 2010 supondrá el 7% del abastecimiento de energía primaria en nuestro país.

Para el conjunto de energías finales, la electricidad seguirá aumentando por encima del resto de energías, a un ritmo, previsible del 2,4%. Tabla 12. Los incrementos adicionales de demanda de este vector ener-

gético procederán mayoritariamente de nuevas centrales de ciclo combinado, aunque se estima que la potencia de nuevos autoproductores pueda crecer en aproximadamente en 10.000 MW. y llegar a proporcionar un 20% de las necesidades de electricidad.

TABLA 12

Previsiones de consumo de energía final en España

	1998		*2010*		*1998/1990*	*2010/1998*
	ktep	*Estructura %*	*ktep*	*Estructura %*	*Anual*	*Anual*
Carbón	2.554	3,1	2.246	2,3	-6,23	-1,06
Prod. petroliferos	53.682	64,1	58.074	54,4	3,46	0,66
Gas	9.688	11,6	13.270	13,6	9,97	2,66
Electricidad	14.290	17,1	18.980	19,4	3,35	2,39
Energías renovables	3.506	4,2	5.215	5,3	-0,36	3,36
Total	83.720	100,0	97.785	100,0	3,36	1,30

FUENTE: MIE.

V. EL PAPEL DE LA TECNOLOGÍA EN EL FUTURO

Permítanme que dedique la última parte de esta Conferencia a realizar un pequeño trabajo de prospectiva sobre las tecnologías que marcaran previsiblemente el futuro de los suministros energéticos. He elegido intencionadamente la tecnología entre las distintas variables que pueden marcar las pautas energéticas del futuro porque considero que su aplicación y desarrollo son los mejores medios para conseguir mejorar y aumentar la eficiencia del aprovisionamiento energético, para proteger y mantener limpio el medio ambiente y, lo que también es de gran importancia, conseguir que la energía sea un bien disponible para la mayor cantidad de personas.

Como todo trabajo de prospectiva la elección que les presento tiene una gran componente de apreciación propia. Confío en que mi subjetividad no sea un impedimento para conseguir el rigor académico que exigen estas Jornadas.

Las tecnologías que les apuntaré a continuación son las tecnologías de producción combinada hidrógeno-electricidad, las nuevas formas de obtención de energía nuclear y una tecnología "puente", la obtención de combustibles líquidos a partir de reservas de gas en lugares remotos. Como luego señalaré, las dos primeras son tecnologías de muy largo alcance, que introducen un giro radical en nuestra concepción clásica de obtención de energía a partir de los ciclos de combustión del carbono y en los modelos convencionales de aprovechamiento de los combustibles nucleares. Tienen importantes ventajas medioambientales y sobre todo ofrecen posibilidades muy grandes en la utilización de fuentes de energía con un potencial casi ilimitado. Por el contrario todavía presentan dificultades importantes en su aplicación a escala industrial. Esto impedirá que se utilicen de forma masiva en los próximos 30 a 40 años.

Por el contrario, la tecnología gas a líquido presenta un horizonte de maduración más próximo, de 10 a 20 años y su introducción está condicionada, principalmente, por el ritmo de penetración del gas natural en los mercados mundiales. Desde mi punto de vista, es una tecnología que puede servir para complementar de forma más limpia nuestros procesos actuales de utilización de hidrocarburos mientras se produce el cambio a las tecnologías del hidrógeno y a las nuevas tecnologías nucleares.

El tándem hidrógeno-electricidad. Células de combustible

En opinión de muchos expertos las fuentes energéticas que serán dominantes en el próximo siglo serán el hidrógeno y la electricidad. En gran medida, estas fuentes son mutuamente complementarias. A partir de la primera se puede obtener la segunda y viceversa. La electricidad se puede conseguir a partir de hidrógeno en células de combustible y de la misma forma, el hidrógeno se puede obtener a partir de la electricidad mediante la electrólisis del agua. Este conjunto cumple las dos condiciones necesarias de un sistema energético sostenible: un esquema de almacenamiento de energía y un producto energético que pueda ser transportado a largas distancias ("*carrier*").

Desde el punto de vista medioambiental, las ventajas de la electricidad y del hidrógeno frente a los hidrocarburos son la limpieza de su

utilización en los puntos de consumo. La electricidad no produce emisiones peligrosas y el hidrógeno sólo produce agua como subproducto. Adicionalmente, ambos productos son totalmente renovables. La electricidad, vista como una separación de cargas eléctricas, regresa a un estado eléctricamente neutro después de ser usada. El hidrógeno se convierte en agua.

Desde un punto de vista estratégico, lo que hace más interesante a esta combinación es la diversidad de fuentes a partir de las cuales se puede producir. En el caso de la electricidad, aparte de las cinco fuentes tradicionales (carbón, nuclear, petróleo, gas y energía hidráulica) es razonable que en el futuro se pueda obtener económicamente con las nuevas fuentes de energía (solar, biomasa, eólica, hidrógeno, etc.). En el caso del hidrógeno, su producción actual se basa, principalmente, en el reformado de gas natural u otros hidrocarburos. Sin embargo, el hidrógeno puede ser obtenido a partir de una gran variedad de fuentes, en general renovables. Figura 5.

• Mediante procesos electrolíticos de separación del agua. La ineficiencia de la conversión de calor a electricidad limita el rendimiento

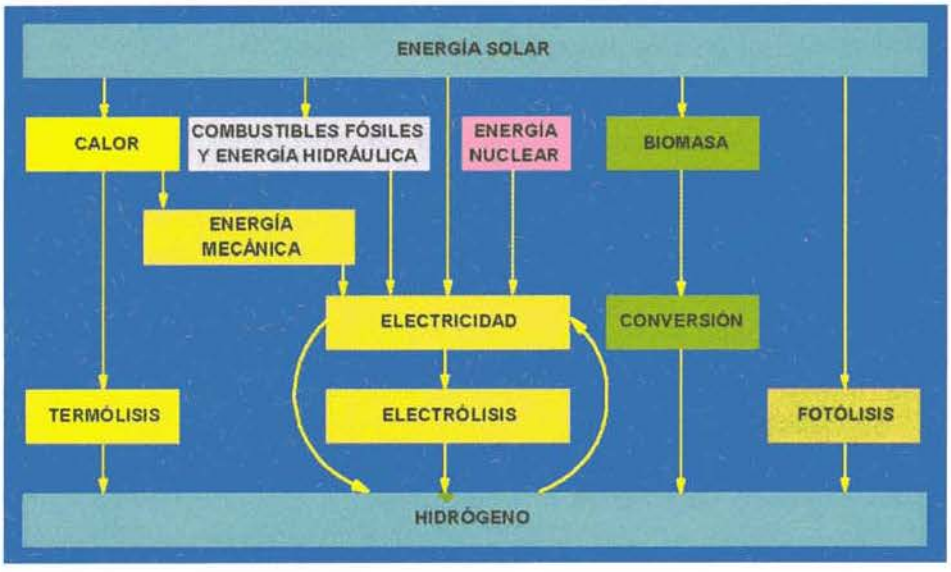


Figura 5. Caminos sostenibles de obtención de hidrógeno.

global de la producción electrolítica de hidrógeno, si se utilizan combustibles fósiles en la producción eléctrica. Sin embargo, el sistema resulta atractivo en el caso de generación de electricidad mediante energías renovables de regulación difícil como es el caso de la energía solar o la energía eólica. Otra utilización con ventajas es la producción de hidrógeno como sistema de gestión de la demanda, de manera que en los períodos de demanda valle los excedentes de electricidad se utilicen para producir hidrógeno que puede ser utilizado como combustible en períodos de pico.

• Termólisis, o separación directa del agua a altas temperaturas (700 – 800º C). El proceso tiene el inconveniente de que para evitar la recombinación rápida del oxígeno y el hidrógeno es necesario añadir grandes cantidades de compuestos tóxicos.

• Mediante procesos de fotólisis se utiliza la energía de la luz para descomponer el agua en presencia de un catalizador. El fotocatalizador puede ser reciclado. Aunque teóricamente es atractivo, se necesita todavía demostrar la viabilidad económica de este proceso.

• Finalmente, la fotosíntesis en una célula de combustible, simulando parcialmente la forma en que los organismos vegetales funcionan. Obviamente, el proceso necesita mucha investigación.

Los analistas señalan que desde nuestros días hasta la mitad del próximo siglo se producirá el declive de las tecnologías de uso final de la energía que utilizan máquinas de combustión interna y de las demás tecnologías de combustión que cierran su ciclo de combustible mediante oxidación del carbono en la atmósfera. El hidrógeno y la electricidad serán los combustibles que moverán los dispositivos de conversión de energía electroquímica, los convertidores catalíticos de energía, los motores eléctricos y las bombas de calor del futuro.

Sin embargo, la tecnología del hidrógeno presenta cuestiones ligadas a la relativa peligrosidad de este combustible, que precisarán importantes esfuerzos de I +D en el futuro:

• El hidrógeno es el elemento más ligero. No tiene color, olor, gusto y no es tóxico. Sus escapes, por tanto, no son detectados por los sentidos

humanos. También es importante tener en cuenta su gran intervalo de límites de inflamabilidad en aire y en oxígeno cuando se manipula.

• La probabilidad de combustión debido a una fuente aleatoria de ignición es mayor para los escapes de hidrógeno en espacios cerrados que para otros combustibles gaseosos industriales o para la gasolina.

• La capacidad de difusión del hidrógeno a través de materiales porosos, soldaduras defectuosas o sellos estropeados es mayor que para otros combustibles.

• El almacenamiento de hidrógeno para ser utilizado en automoción presenta el inconveniente adicional de la baja densidad volumétrica de este combustible. Este inconveniente es especialmente importante en la economía de los automóviles, ya que para conseguir mayores densidades sería necesario incorporar a los vehículos sistemas que mantuvieran el hidrógeno en forma líquida con la consiguiente penalización energética.

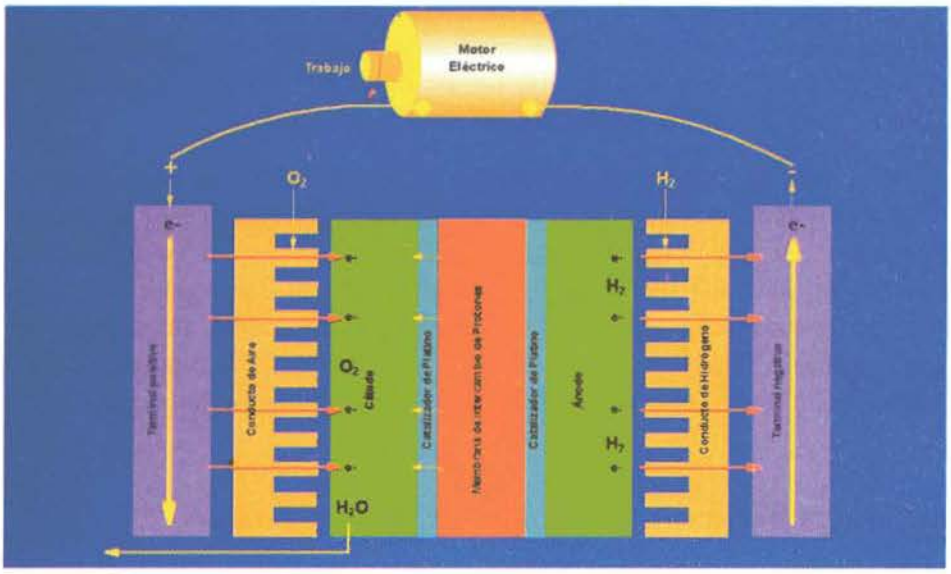
Probablemente, la mejor aproximación a las posibilidades de utilización del hidrógeno como "carrier" energético es describir sus aplicaciones al sector de la automoción. Al comienzo de esta Conferencia se indicaba que el consumo energético en el sector de los transportes ha crecido durante la última década a tasas en torno al 2% anual. Los productos petrolíferos son el combustible más utilizado en la actualidad y su versatilidad y comodidad en la utilización ofrecen un horizonte a corto plazo con muy pocas posibilidades de sustitución. Por el contrario, los esfuerzos de la industria automovilística se dirigen a reducir los consumos unitarios de los vehículos, aunque la buena situación económica parece contrarrestar esta ventaja con considerables aumentos del parque de coches. Por su parte, las políticas energéticas de los países industrializados continúan promoviendo la sustitución de los productos petrolíferos como medida de garantía de la seguridad de los suministros y de estabilidad en los precios. En la actualidad, la utilización de hidrógeno como combustibles en vehículos se plantea, principalmente, mediante el desarrollo y fabricación a escala industrial de las células de combustible, dispositivos que permiten obtener electricidad a partir de partir de procesos electroquímicos. Las células convierten la energía de un combustible rico en hi-

drógeno directamente en electricidad y operan mientras se les suministre combustible. Ver Tabla 13. En el caso de las células de combustible que utilizan membrana de intercambio de iones (protones), Figura 6, la electricidad se obtiene por difusión de iones hidrógeno en presencia de un catalizador de platino. Los protones tienden a reaccionar con el oxígeno del aire que circula por un conducto situado al otro lado de la membrana porosa. Los electrones separados por la acción del catalizador tienden a dirigirse al electrodo negativo creando una corriente eléctrica. Las células de combustible no emiten compuestos sulfurosos o nitrosos y pueden utilizar una amplia variedad de com-

TABLA 13

Tipos de células de combustible

	Tipo de célula			
	Membrana de electrolito polímero	*Ácido fosfórico*	*Carbonato*	*Óxido sólido*
Electrolito	Membrana de intercambio iónico	Ácido fosfórico	Mezcla de carbonatos alcalinos	Óxido de zirconio estabilizado con itria
Temperatura Operación °C	80	200	650	1.000
Elemento de transporte cargas	H^+	H^+	$CO_3^=$	$O^=$
Estado del electrolito	Sólido	Líquido inmovilizado	Líquido inmovilizado	Sólido
Catalizador	Platino	Platino	Níquel	Perovskitas
Calor de cogeneración	Ninguno	Baja calidad	Alto	Alto
Rendimiento eléctrico %	40	40-45	50-60	50-60



FUENTE: *DOE*.

Figura 6. Funcionamiento de una célula de combustible de membrana de intercambio iónico.

bustibles como gas de carbón, biogas, alcoholes, sinfuel, metano, etc. Además, presentan otras importantes ventajas que se pueden resumir en los siguientes puntos:

• Modularidad que las hace especialmente aptas para sistemas en donde sea precisa una gran capacidad de regulación entre márgenes amplios de potencia, o existan incertidumbres sobre la potencia requerida. La modularidad produce una economía de escala "plana"; el coste del kwh es prácticamente el mismo para plantas pequeñas que para plantas grandes. Lo mismo ocurre con el rendimiento, que no depende del tamaño de la central, sino del rendimiento individual de cada célula.

• Altos rendimientos de la conversión a energía eléctrica que en todos los casos son superiores al 40% y pueden llegar al 60%. En el caso de que se aproveche el calor producido, los rendimientos globales de estos dispositivos pueden alcanzar valores próximos al 85%, y ampliar las posibilidades de aplicación para sistemas de cogeneración, calefacción o aire acondicionado en múltiples sectores.

• Posibilidad de implantar sistemas energéticos independientes de las grandes redes de transporte y suministro de energía, con diversas ventajas como la eliminación de las pérdidas de transporte de energía eléctrica, mejora de la fiabilidad del suministro, etc.

La tecnología ha suscitado el interés de los fabricantes de automóviles que consideran que puede ser la solución para conseguir adaptarse a las cada vez más exigentes regulaciones de emisiones en vehículos. De esta forma, Daimler Chrysler confía que en el año 2004 podría comercializar, aproximadamente 40.000 vehículos con motor de células de combustible. Otros fabricantes como Toyota y Honda han anunciado su intención de lanzar al mercado vehículos similares en torno al año 2003.

La energía nuclear. Los reactores de alta temperatura

Los principales factores que limitan la expansión del uso de la energía nuclear se pueden resumir en la negativa percepción pública de la seguridad de los reactores, los elevados costes de inversión de nuevas centrales y el rechazo a los residuos radiactivos y sus sistemas de gestión. La primera cuestión motivó el interés de los técnicos por el desarrollo de una nueva generación de centrales nucleares en que la seguridad fuera intrínseca a los reactores, de forma que ante cualquier eventualidad los propios sistemas nucleares tendieran a una situación segura sin necesidad de medidas externas o sin la intervención de los operadores. Este tipo de centrales se conoce por el nombre de reactores avanzados. En los últimos años, el sector nuclear ha visto el renacimiento de los proyectos de desarrollo de los reactores de alta temperatura que utilizan helio como refrigerante. Aunque la tecnología comenzó a ser utilizada en los años setenta, los altos costes de construcción y operación motivaron el abandono de los distintos proyectos. El desarrollo de las tecnologías de turbinas de gas y de sus sistemas asociados, como los recuperadores, compresores, etc. permite que las características de estos reactores puedan ser utilizadas en ciclos tipo Brayton con rendimientos próximos al 50% y técnicas modulares, con un buen rendimiento económico. En la actualidad, existen cuatro proyectos en el mundo: Japón con un reactor de 30 MWt., China que está construyendo un reactor de demostración de 10 MWt., el proyecto

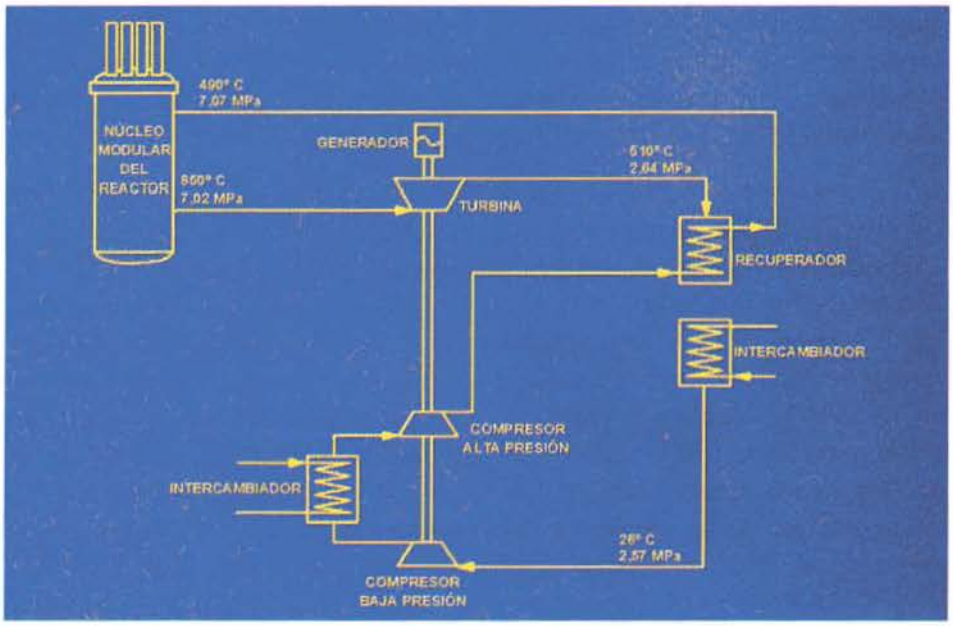
internacional GT-MHR (gas turbine-modular helium reactor)que se desarrolla en Rusia con la colaboración de empresas americanas, francesas y japonesas y una potencia de diseño de 284 MWe, y el proyecto Pebble Bed Modular Reactor (PBMR) liderado por Sudáfrica con 100 MWe.

El reactor GT-MHR acopla un reactor modular de helio (MHR) con un sistema de conversión de energía mediante una turbina de gas de alto rendimiento, situado en una vasija adyacente. Ambos sistemas están interconectados y situados bajo tierra en un silo cilíndrico. El reactor nuclear emplea grafito como moderador, y como combustible partículas esféricas con un revestimiento multicapa que actúa como una microvasija de presión resistente a la corrosión. Las partículas de combustible tienen un tamaño entre 650 y 850 micras y están unidas mediante una matriz de grafito para formar unidades compactas de combustible. El material de revestimiento de las partículas combustibles no se degrada hasta, aproximadamente, 2000º C para un funcionamiento normal del reactor de 1250º C, y de 1600º C en el caso del peor accidente previsible. Si se interrumpe la circulación de refrigerante, el reactor puede ser enfriado por radiación desde la vasija del reactor hacia la cavidad de las paredes de la contención, que son recubiertas con paneles refrigerados por agua. Incluso en el caso de fallo de este sistema, el calor podría ser absorbido por el hormigón de las paredes. De esta forma, el reactor aguanta un accidente con pérdida de refrigerante sin intervención de los operadores y sin necesidad de sistemas activos de seguridad. El helio calentado en el reactor, se expande a través de una turbina de gas para producir electricidad. Desde la salida de la turbina, el helio entra en un recuperador de calor, cuya salida caliente alimenta de refrigerante al reactor. La corriente fría de helio se dirige a un precalentador para ser luego comprimida en dos etapas y posteriormente alimentar el recuperador. Figura 7.

Las ventajas de este tipo de reactores son las siguientes:

• El refrigerante, helio, se emplea en fase gaseosa en todo el ciclo, es inerte y no es reactivo.

• El sistema de partículas con revestimiento permite altos grados de quemado, es resistente a altas temperaturas y por sus características actúa como un elemento muy estable de confinamiento de los productos de fisión.



FUENTE: *Malcolm P La Bar/Walter A. Simon*

Figura 7. Diagrama del ciclo de un reactor GT-MHR.

• El núcleo de grafito tiene muy buenas características de seguridad, gran capacidad calorífica, estabilidad a altas temperaturas y coeficiente de reactividad negativo a temperatura.

• El reactor puede utilizar diversos combustibles como uranio, torio o plutonio. En este último caso el reactor puede ser utilizado para eliminar este elemento.

• El concepto modular permite conseguir un reactor sin problemas de fusión del núcleo con la consecuente simplificación en el diseño.

• El uso de un único refrigerante elimina el sistema secundario de las actuales centrales nucleares, evitando los problemas habituales en los generadores de vapor.

• Es posible utilizar el calor del gas a altas temperaturas (950° C) para procesos químicos, entre otros reformado de gas natural para obtención de hidrógeno o gasificación del carbón.

Quisiera poner énfasis en las buenas características de la tecnología de los reactores a altas temperaturas desde el punto de vista de la producción y eliminación de residuos radiactivos. El sistema de partículas de combustible multicapa proporciona un buen sistema de inmovilización de residuos tanto para su almacenamiento temporal como para su disposición geológica final. El revestimiento refractario mantiene su integridad en las condiciones del almacenamiento geológico durante cientos de miles de años. De esta manera, proporciona una barrera adicional que asegura que los radioelementos contenidos en las esferas no migran a la biosfera en un marco de tiempo a escala geológica. Para la eliminación del plutonio contenido en las armas nucleares, el reactor a alta temperatura permite consumir el 90% del plutonio 239 y más del 65% de total de plutonio cargado inicialmente en una sola etapa del reactor. Debido a que un HTR que quema plutonio no utiliza material fértil, todas las fisiones en el núcleo son fisiones de plutonio, por lo que no se produce plutonio adicional en su operación. Adicionalmente, este tipo de reactores pueden servir para evitar la proliferación de este elemento, ya que el plutonio contenido tanto en el combustible fresco como en el usado en un HTR es muy difícil de separar. En el primer caso porque está muy diluido en el elemento combustible de grafito. En el caso del combustible gastado, el contenido de este elemento es muy bajo y su mezcla isotópica está muy degradada.

El otro caso de tecnologías nucleares que tendrán una aportación energética en el futuro son las energías de fusión y los reactores amplificadores de energía, basados éstos en los procesos de espalación. En ambos casos a las posibilidades de utilización de recursos con grandes inventarios se unen las ventajas de producción nula de residuos, o como en el caso de los amplificadores su posible utilización como elemento eliminador de los ya existentes.

Las tecnologías del gas. Conversión gas a líquido

Gran parte de las reservas de gas natural identificadas y recuperables se encuentran en lugares remotos o en pequeñas acumulaciones que hacen antieconómico el desarrollo de su explotación si este combustible

se debe transportar por medios clásicos: gaseoducto o transporte mediante tanques de gas natural licuado. Una de las opciones que se maneja para evitarlo es el desarrollo de las tecnologías de conversión de gas natural a líquido (GTL) , basadas, principalmente, en la recombinación de los átomos de carbono e hidrógeno en productos petrolíferos sintéticos, bien líquidos, bien en forma de parafinas. En este punto, la discusión se centra en producir GTL en forma de productos medios de destilación, como gasoil para transportes, que tienen un buen mercado potencial, o producir otros compuestos como metanol o amoniaco con un mercado más reducido. Las posibilidades de venta de una opción u otra determinarán la extensión con que puede adoptarse este tipo de tecnologías.

Las tecnologías de conversión de gas emplean medios químicos o físicos para convertir gas natural en un líquido apto para ser transportado o para ser usado directamente. Los sistemas más utilizados se dividen en dos grupos :

• Compresión y refrigeración para licuar criogénicamente el gas y posteriormente regasificarlo para su uso.

• Conversión química, con modificación de las moléculas del gas para formar un líquido estable.

En la actualidad existen diversos proyectos de investigación de estas tecnologías destinados principalmente a mejorar el rendimiento de los procesos actuales de reformado catalítico de gas natural y conseguir la utilización económica en pequeños aprovechamientos. Los principales proyectos se resumen a continuación:

• Sistemas de membrana cerámica para el transporte de iones. Este proyecto se basa en el éxito de las investigaciones que demostraron que los iones de oxígeno pueden atravesar membranas cerámicas selectivas. El fenómeno abre las posibilidades de separación del aire y oxidación parcial de metano en un reactor cerámico de un paso para conseguir un producto intermedio "syngas" que puede ser convertido inmediatamente en combustibles limpios y otros hidrocarburos. El syngas está compuesto por hidrógeno y monóxido de carbono y se convierte en un reactor Fischer-Tropsch en hidrocarburos parafínicos de cadena larga. En la

actualidad se trabaja para determinar la estructura óptima de la membrana, diseñar un reactor a alta temperatura y sellos cerámicos que permitan verificar la continuidad del proceso a nivel de laboratorio. Figura 8.

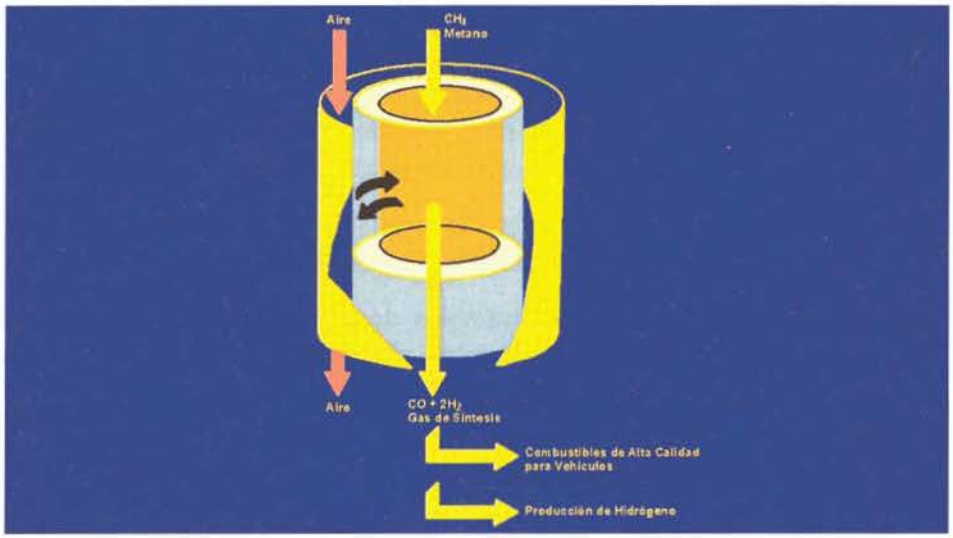


Figura 8. Funcionamiento de un sistema de membrana cerámica par a la obtención de GTL.

• Liquefacción termoacústica del gas natural. El proceso está concebido para conseguir gas natural licuado a pequeña escala en lugares remotos tanto en sondeos en el mar como en tierra. El proceso utiliza la combustión de gas natural para producir ondas acústicas que controlan un refrigerador. El proceso no utiliza elementos móviles y no requiere electricidad . Se espera que el coste final de operación sea la mitad de los costes de refrigeración convencionales para una capacidad similar.

• Oxidación Catalítica y recombinación de metano. El proceso en investigación se basa en la combinación oxidante, un método por el cual el oxígeno reacciona con metano en presencia de un catalizador para formar agua y un radical metilo. Varios de estos últimos se combinan para formar un alcano más pesado, como etano, que posteriormente se deshidrogena fácilmente a una olefina, como etileno. El mayor obstáculo actual a la investigación es la rápida formación de dióxido de carbono

antes de la unión de los radicales metilo. Se investiga el uso de catalizadores de membranas de protón para conseguir la rápida separación de los radicales.

La tecnología GTL ofrece un gran número de ventajas para la comercialización del gas natural:

• Los productos GTL pueden beneficiarse de la infraestructura existente para los productos petrolíferos: tanques, terminales, instalaciones de almacenamiento y distribuidores, evitando inversiones adicionales.

• Se espera que la tecnología sea escalable, permitiendo la optimización de los diseños y su aplicación a pequeños campos de gas.

• Su utilización como combustibles de transporte hace prever que reduzca las emisiones de los vehículos, dependiendo los niveles de reducción de la mezcla de combustible sintético y productos petrolíferos que se adopte y el proceso GTL utilizado.

• Otro ventaja medioambiental es la posibilidad de aprovechar el gas de antorcha o gas que se produce en combinación con el petróleo en los pozos en donde éste se extrae. En aquellos lugares en donde no se dispone de infraestructura para recuperarlo, el gas se ventea o quema, produciendo gases que contribuyen al efecto invernadero.

Las tecnologías GTL se consideran una alternativa que puede competir con los proyectos de gas natural licuado. Para grandes depósitos de gas, las dos tecnologías pueden ser utilizadas de forma complementaria, disminuyendo los costes de los proyectos de licuefacción de gas y de implantación de procesos GTL al compartir costes de infraestructura y mano de obra.

En la actualidad existen dos plantas en el mundo que utilizan tecnología GTL, basadas en el reformado de metano y su conversión catalítica en petróleo. La planta Mossgas en Sudáfrica tiene una capacidad de 23.000 barriles por día, que se obtienen a partir de los campos gasísticos existentes en el mar a 91 km. de la costa. La otra instalación que utiliza tecnologías GTL está situada en Bintulu (Malasia) y cuenta con una capacidad de producción de 12.500 barriles por día.

VI. CONCLUSIONES

El suministro de energía continuará siendo una prioridad en las políticas de cualquier país en la medida en que la energía es un factor necesario para el funcionamiento regular de cualquier sociedad junto con los clásicos trabajo, tierra y capital. La condición para que estas sociedades puedan disponer de los recursos tecnológicos que le permitan ser una sociedad avanzada es que los suministros se efectúen de forma económica, continua, segura, diversificada, tecnológicamente eficiente y medioambientalmente aceptable.

En la actualidad, la demanda de energía en el mundo está distribuida de forma desigual. De un consumo total de aproximadamente 10.000 millones de toneladas equivalentes de petróleo al año, los países industrializados utilizan, aproximadamente el 60% mientras que su población representa un poco más del 15% de la población mundial.

En los próximos veinte años la demanda mundial crecerá un 50% aproximadamente, debido, principalmente, al aumento de la demanda energética de los países en desarrollo, que duplicarán sus niveles actuales de consumo.

La demanda en los países industrializados crecerá de forma moderada, en torno a un 20%, o lo que es equivalente, a un ritmo ligeramente inferior al 1% anual, como consecuencia de tener economías más desarrolladas, con menores intensidades energéticas, mayores niveles de equipamiento energético y unas expectativas de crecimiento demográfico inferiores a los de los países en desarrollo.

En las próximas dos décadas, los combustibles fósiles y, en especial, el petróleo seguirán dominando la estructura de suministro de energías primarias, si bien es previsible que continúe la penetración del gas natural a costa del mercado de productos petrolíferos y de la utilización de carbón, debido a sus ventajas como combustible más limpio, a los buenos rendimientos de las tecnologías de producción de electricidad con turbinas de gas y a su mejor distribución geográfica.

Las necesidades de fuertes equipamientos energéticos en los países en desarrollo y de utilización de sus recursos autóctonos para salvaguardar sus reservas de divisas promoverán el mantenimiento de los consu-

mos globales de carbón, aún a costa de la recesión del consumo de este combustible en los países con economías avanzadas.

El consumo de energía primaria en España es, actualmente, de 121 millones de toneladas equivalentes de petróleo y presenta una tendencia continua de crecimiento del 3,5% durante la última década. La dependencia de los suministros del exterior es acusada en nuestro país, ya que aproximadamente el 75% de nuestras necesidades energéticas son importadas, y este parámetro aumenta desde los años noventa. A medio plazo, la demanda de energía continuará creciendo a ritmos promedio del 1,4% para crecimientos económicos entre el 2,5% y el 3% anual. Se espera una ligera bajada relativa del peso del petróleo, aunque éste continuará siendo la fuente más importante de suministro. La participación del consumo de carbón descenderá a un 7%, menos de la mitad de su participación en 1998, desplazada por una mayor utilización del gas natural, especialmente en la generación de electricidad.

Es posible un crecimiento de las energías renovables distintas de la hidráulica del 100%, hasta alcanzar una participación en el balance próxima al 10%, con incidencia especial en los sectores de energía eólica, aprovechamiento de residuos, y, en conjunto, de la producción de electricidad en régimen independiente.

A muy largo plazo, en torno a 40 ó 50 años, las fuentes energéticas dominantes serán el hidrógeno y la electricidad, en base a la posibilidad de producción de ambas, y a su disponibilidad complementaria a partir de cualquier otra fuente energética.

La utilización de hidrógeno y de electricidad evita la combustión masiva de compuestos carbonosos que se producen al emplear combustibles fósiles y añade, por tanto, la ventaja ambiental de no producir emisiones de gases contaminantes o en el caso del vapor de agua, un producto que se puede considerar renovable.

Actualmente, se trabaja para disponer de tecnologías que eviten los inconvenientes del uso del hidrógeno, alta inflamabilidad, necesidad de recipientes especiales , baja densidad volumétrica y para mejorar los rendimientos y tecnologías de su utilización en células de combustible. También para la creación de sistemas basados en el empleo del tándem

hidrógeno-electricidad a partir de la producción de esta última mediante energías renovables.

Las nuevas tecnologías de la energía nuclear que se desarrollen tendrán como principales exigencias que dispongan de seguridad pasiva en los reactores, que sus costes de implantación sean bajos, que se obtengan rendimientos elevados en todo el ciclo de la central y que produzcan cantidades bajas de residuos.

A muy largo plazo, se prevé que la energía de fusión puede proporcionar una respuesta de gran magnitud a las necesidades energéticas que se demanden. Su aplicación a escala industrial requerirá el desarrollo de materiales que sean capaces de soportar las elevadas temperaturas y solicitaciones necesarias para autosostener las reacciones nucleares.

A medio plazo, la tecnología nuclear está desarrollando el modelo de reactor a alta temperatura, basado en la utilización de helio como refrigerante y uranio, torio o plutonio como combustible. Este último se introduce en forma de pequeñas bolas de combustible revestidas de materiales resistentes a altas temperaturas. La posibilidad de empleo del helio calentado a alta temperatura bien mediante su expansión en turbinas de gas o bien aprovechando su energía térmica permite prever altos rendimientos del conjunto de la instalación. Esta ventaja, junto con su carácter de reactor pasivo, con buenas características como reactor que quema plutonio, y la posibilidad de fabricación de forma modular han propiciado el diseño y construcción de cuatro proyectos en el mundo con potencias que varían desde 10 MWt hasta 284 MWe.

Gran parte de las reservas de gas natural se encuentran en lugares remotos o en pequeñas acumulaciones que hacen antieconómico el desarrollo de su explotación. Los investigadores trabajan en el desarrollo de técnicas que permitan la conversión del gas natural a combustibles líquidos, gasolinas, gasoil, etc., y su transporte posterior a los centros de consumo (tecnologías GTL). Los proyectos de investigación más avanzados se orientan a mejorar el proceso de reformado catalítico principalmente mediante técnicas de oxidación selectiva.

Las tecnologías GTL se consideran una alternativa que puede competir con los proyectos de gas natural licuado en pequeños campos e

incluso ser utilizadas complementariamente a la licuefacción en grandes depósitos, aprovechando las infraestructuras y mano de otra de éstas.

VII. BIBLIOGRAFÍA

(1) EUROPEAN COMMISSION: ENERGY IN EUROPE (1999): *Annual Energy Review*. Enero 2000- 05-23
(2) EUROPEAN COMMISSION: Energy in Europe. European Union Energy Outlook to 2020. Nov. 1999.
(3) EUROPEAN COMMISSION: Energy in Europe. A view to the future. Sept. 1992.
(4) WORLD ENERGY COUNCIL: Energía para el mundo del mañana 1993.
(5) Energy Information Administration USDOE: International Energy Outlook 2000. Marzo 2000.
(6) MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGÍA. Balance energético de 1999 y perspectivas para el 2000. Febrero 2000.
(7) RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A. Memoria estadística 1998 y boletines mensuales 1999.
(8) US DEPARTMENT OF ENERGY: Advanced fuel cell power systems. Febrero 2000.
(9) *Science*: Vol. 285, Julio 1999. US Supercars: Around the corner, or running on empty.
(10) NUCLEAR ENGINEER: Vol. 41 nr. 1. Malcolm P. La Bar y Walter A. Simon. The modular helium reactor – a design for the 21st. century.
(11) D. HITTNER ET ALTER: Assessment of safety and innovative technology for HTR power generating plant (INNOHTR).
(12) US DEPARTMENT OF ENERGY: Gas processing Program. Gas to liquids conversion. Febrero 2000.