

SOLUCIONES A LOS RESIDUOS RADIACTIVOS: UNA TRIPLE PROBLEMÁTICA

Pablo M. García Corzo

22, 23 y 24 de Marzo de 2004

Índice

0.1	Prólogo del Autor	3
1	El Problema Tecnológico	4
1.1	¿Qué es la radiactividad?	4
1.2	Operación en las centrales Nucleares. Ciclo del combustible	6
1.3	¡¡Residuos Radiactivos!!	7
1.3.1	Caso particular: Residuos en centros de investigación biológica	8
1.4	¿Qué hacer con los residuos?	9
1.4.1	Tratamiento de Residuos de Baja y Media Actividad: El Cabril	9
1.4.2	Buscando sitio para los Residuos de Alta Actividad	10
1.4.3	Un caso práctico: Clausura y Desmantelamiento de Vandellós I	12
2	El Problema Económico	14
2.1	Economía y Energía	14
2.2	Un vistazo a las fuentes de energía	15
2.2.1	Mercado de Hidrocarburos: Carbón, Petróleo y Gas Natural	15
2.2.2	Energías Renovables e Hidoeléctricas	15
2.2.3	Energía Nuclear	16
2.3	Pero gestionar los RR también cuesta dinero...	16
3	El Problema Ecológico-Social	18
3.1	El mundo y la energía: Desarrollo sostenible	18
3.2	Potenciamos otras fuentes de energía	18
3.2.1	El Gas Natural	18
3.2.2	Energía Hidroeléctrica	19
3.2.3	Energía Solar	19
3.2.4	Energía Eólica	19
3.2.5	Combustión de biomasas	20
3.2.6	Energía Nuclear	20
4	¿Qué podemos hacer?	21
4.1	Importancia de la ciencia	21
4.1.1	¿Cómo funciona la ciencia en España?	21
4.1.2	El modelo lineal	22
4.1.3	Búsqueda de un nuevo modelo	22
4.1.4	La Ciencia en España es Escasa, Buena y Poco Aplicada	23
4.2	¿Dónde buscar soluciones en España?	24

0.1 Prólogo del Autor

Berlín, 1938. Otto Hahn juega con la física analítica, bombardeando uranio con neutrones, cuando detecta la presencia de bario, un elemento que está hacia la mitad de la tabla periódica. Habían partido un núcleo de uranio por la mitad.

Enero de 1939. Grandes personalidades de la física como Niels Bohr o Enrico Fermi comenzaron a escribir ecuaciones en sus pizarras acerca de la fisión y de las inmensas cantidades de energía que podrían ser liberadas. Durante estos primeros pasos de la recién nacida Energía Nuclear, Robert Oppenheimer trataba de enterarse de lo ocurrido.

2 de diciembre de 1941. Bajo la supervisión de Enrico Fermi, fue construida la primera pila atómica en la universidad de Chicago.

1945. Sólo siete años después de su descubrimiento, cuando Otto Hahn se enteró de lo sucedido en Hiroshima, se entristeció tanto que sus amigos temieron que pudiera suicidarse. El 7 de Agosto, el encabezado del *News Chronicle* reza: SE UTILIZA UNA NUEVA FUERZA DE LA NATURALEZA.

Siete años es muy poco tiempo y la energía nuclear es quizá un arma demasiado poderosa en manos del ser humano. Todos parecemos tener grabado esto a fuego en nuestra mente y, comprensiblemente, la palabra **radioactivo** nos asusta.

Sin embargo, tampoco nos son ajenas las consecuencias de lo conseguido aquel 2 de diciembre de 1941. La energía Nuclear también puede ser utilizada, y lo es en Centrales Nucleares, para fines pacíficos y su potencial es también inmenso. Pero de nuevo surge esa palabra maldita. Las Centrales Nucleares generan productos de desecho, RESIDUOS RADIATIVOS.

La Energía Nuclear es una alternativa realista tanto en nuestro país como en Europa y en el resto del mundo a la combustión de carbón o petróleo como lo son las energías renovables o el gas natural. Países como Francia la utilizan como principal fuente de energía. Produce contaminantes en mayor o menor medida que otras soluciones energéticas aunque sus productos de desecho lleven apellidos cuanto menos controvertidos.

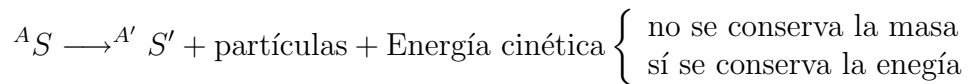
Este escrito trata de compilar datos e ideas vertidas a lo largo de doce ponencias de economistas, físicos, científicos o ingenieros a razón del seminario sobre *soluciones a los residuos radiactivos* promovido por ENRESA y la Fundación UCM durante el 4º ciclo de invierno de ciencia y tecnología celebrado en Madrid. Se tratará de analizar lo más objetivamente posible el tema de la energía nuclear, su situación actual en el mundo, sus problemas y las condenas y prejuicios existentes hacia ella mostrando su realidad física con el fin de buscar soluciones o al menos de abrir ventanas hacia un futuro incierto.

1 El Problema Tecnológico

1.1 ¿Qué es la radiactividad?

La radiactividad se puede definir como una variación espontánea de la composición del núcleo atómico que se produce mediante la radiación de partículas elementales o núcleos del estado fundamental o de un estado metaestable del núcleo.

Denotaremos ${}^A S$ a un elemento S con $A = n^\circ$ de protones + n° de neutrones.



Las energías generadas en estas desintegraciones oscilan entre 10^3 y $10^6 eV$, donde $10^{19} eV = 1J$.

Existen varios TIPOS DE RADIATIVIDAD:

Desintegración α : Se trata de la emisión de una partícula α que consiste en dos protones y dos neutrones enlazados como un todo: ${}^{227}Th \longrightarrow {}^{223}Ra + {}^4He$

Desintegración β^- : Transformación de un neutrón en un protón, emitiéndose de forma simultánea un electrón y un neutrino: ${}^{90}Sr \longrightarrow {}^{90}Y + e^- + \nu$

Desintegración β^+ : Transformación de un protón en un neutrón, emitiéndose de forma simultánea un positrón y un neutrino: ${}^{22}Na \longrightarrow {}^{22}Ne + e^+ + \nu$

Emisión de rayos γ : Desexcitación de estados nucleares excitados:

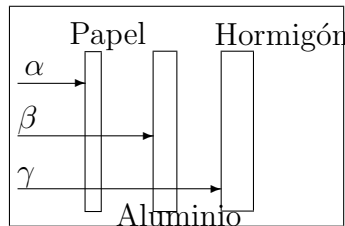
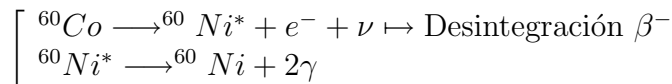
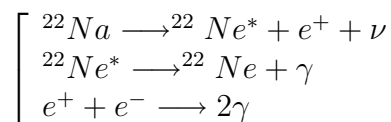


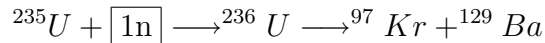
Ilustración 1: Grado de penetración de emisiones radiactivas

Existen además OTROS PROCESOS RADIATIVOS:

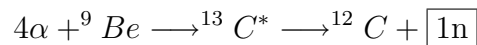
Aniquilación de positrones: El positrón es la antipartícula del electrón. Cuando una partícula se encuentra con su antipartícula se aniquilan mutuamente emitiendo rayos γ . Este proceso se produce siempre que sean emitidos positrones por desintegración β^+ y aumenta significativamente la emisión de rayos γ :



Fisión nuclear: Es el proceso que hoy día se lleva a cabo en las centrales nucleares para la producción de energía. Consiste en bombardear núcleos atómicos con haces de neutrones hasta la escisión nuclear, proceso en el que se desprenden grandes cantidades de energía:



Para el proceso necesitamos fuentes de neutrones, que obtenemos mediante:



Fusión Nuclear: Quizá la fuente de energía de un futuro no tan lejano. Utiliza hidrógeno como materia prima (el elemento más común en nuestro planeta en contraposición con el escaso Uranio utilizado en las CCNN actuales) y produce muchos menos residuos nocivos. El proceso es el que sigue:



Sin embargo aún falta concretar algunos aspectos técnicos.

Todos los procesos anteriormente citados se rigen por una serie de LEYES DE DESINTEGRACIÓN:

- La desintegración espontánea de los núcleos atómicos sigue la ecuación:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

N_0 es la cantidad de núcleos que hay en un volumen determinado en el instante $t = 0$.

λ es la constante de desintegración, que tiene que ver con la probabilidad de desintegración del núcleo en un segundo. La magnitud $\frac{1}{\lambda}$ es la vida media del isótopo radiactivo.

- El período de semidesintegración o semiperíodo radiactivo $T_{\frac{1}{2}}$ es el tiempo que tardan en desintegrarse la mitad del número inicial de núcleos:

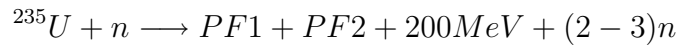
$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\text{Ln}2}{\lambda}$$

- Se denomina Actividad de Desintegración al número de núcleos que se desintegran por unidad de tiempo:

$$A = \lambda N$$

1.2 Operación en las centrales Nucleares. Ciclo del combustible

En las CCNN, de forma ideal, se produce una fisión sencilla según el esquema que sigue:



La fisión del ${}^{235}\text{U}$ en dos fragmentos puede producirse de diferentes formas dando lugar a decenas de productos de fisión diferentes. Estos productos de fisión son los que encabezan cadenas de desintegración radiactiva, generando centenares de nucleidos de los que muchos son radiactivos e incluso algunos no existen en la naturaleza ¹.

Esto se produce dentro del reactor de las CCNN, pero existe a su alrededor toda una serie de infraestructuras destinadas a seguridad, a la propia generación de electricidad, tuberías metálicas, refrigeración. . . Donde son activados elementos, en principio neutros, por radiaciones generadas desde el propio reactor. A continuación estudiaremos un poco los ciclos de funcionamiento de las centrales nucleares, cómo el combustible llega a ellas y dónde se producen residuos radiactivos para tratar de entender el origen y magnitud de nuestra problemática.

CICLO DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR:

- El combustible (inútil aún para las CCNN) sale de las minas de uranio hacia plantas de concentración y enriquecimiento mediante procesos químicos.
- Una vez enriquecido, el combustible está preparado para llegar a las CCNN y entrar en el reactor. Hasta entonces el combustible sólo posee escasa radiación natural no peligrosa.
- El combustible entra en el reactor y comienza a producir energía eléctrica. Mientras el combustible es utilizado se producen residuos:
 - El agua que se calienta en el reactor puede ser activada, el agua activada circula por tuberías metálicas que también recibirán radiación.
 - A lo largo del recorrido de estas aguas hay estaciones de muestreo (control de niveles de radiación, pH...) que generarán también residuos.
 - Los eyectores destinados a disminuir la presión del agua en el condensador.
 - En el sistema de tratado y limpieza de aguas.
 - Algunos residuos gaseosos podrían pasar al aire. Este aire es filtrado y de ese filtrado también salen residuos.
 - Dado que ningún sistema de tuberías puede ser completamente hermético, se producirán pequeñas fugas o filtraciones. Este problema está pensado y se instalan sistemas de drenajes y sumideros con limpieza de aguas de donde también surgen residuos.

¹El neptunio, por ejemplo, cuyo período de semidesintegración es del orden de millones de años, había desaparecido ya de nuestro planeta hasta que el hombre lo construyó de nuevo en sus CCNN.

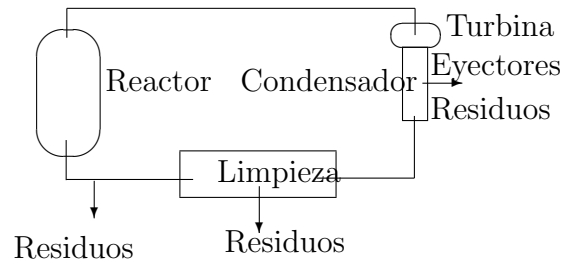


Ilustración 2: Esquema de Funcionamiento de una Central Nuclear

- Por supuesto, el propio combustible gastado, que cuando se saca del reactor posee alta actividad y es almacenado en piscinas destinadas a dicho uso dentro de la propia central.
- El agua de dichas piscinas y las fases de depuración de ésta también generarán residuos.
- En algunos países (como Francia pero no en España) se llevan a cabo tareas de reproceso de combustible gastado mediante el cual gran parte de los residuos del reactor son reaprovechados y entran de nuevo en el ciclo.
- Los residuos no reprocesados son llevados a almacenamientos de los que hablaremos en detalle más adelante.

1.3 ¡¡Residuos Radiactivos!!

Pasemos a hablar de los residuos radiactivos propiamente dichos, de su generación y clasificación.

En Europa, se genera aproximadamente un kilogramo de residuos radiactivos por habitante al año. Es una cifra realmente pequeña en comparación con los residuos generados por otros sectores energéticos, aunque su tratamiento resulta bastante problemático y su importancia, por tanto, es grande no cuantitativa pero sí cualitativamente.

Podemos clasificar los RR de diferentes formas:

- Por su estado de agregación, hablaríamos de residuos sólidos, líquidos y gaseosos.
- Por el tipo de radiaciones que emiten, hablaríamos de emisores α , β o emisores γ .
- Por su actividad, encontraremos residuos de alta, baja o media actividad.

Para la optimización de su tratamiento se dividen en primer lugar los residuos radiactivos en dos grupos según su actividad radiactiva: en residuos de baja y media actividad y en residuos de alta actividad. Los segundos son básicamente los combustibles gastados de CCNN y son residuos sólidos.

En cuanto a los RRBMA², es necesario subdividirlos según su estado de agregación, y se producen por varias vías:

²Residuos radiactivos de baja y media actividad

- Residuos de operación de CCNN (anteriormente explicados), se calculan en el PGRR³ $43.800m^3$ hasta el cierre de las CCNN españolas.
- Residuos de desmantelamiento de CCNN que ocuparán unos $135.100m^3$, aproximadamente un 70% del total.
- Residuos de los pequeños Productores:
 - Hospitales
 - I+D
 - :

1.3.1 Caso particular: Residuos en centros de investigación biológica

Veamos un poco más detenidamente cómo se generan y cómo se tratan residuos radiactivos para el caso de un pequeño productor como puede ser un centro de investigación biológica.

Una de las actividades más comunes en estos centros es el marcaje con radiotrazadores.

La técnica se basa en que una molécula orgánica no distingue entre un átomo normal (estable) y un átomo excitado. La idea consiste en sustituir un átomo de la molécula por uno de sus isótopos radiactivos. Por ejemplo, en una molécula de fenilalanina, se sustituyen átomos de ^{12}C por ^{14}C .

La molécula lo aceptará y continuará desempeñando sus funciones biológicas a la vez que emite señales radiactivas. De este modo, con el equipo adecuado, puede realizarse un seguimiento de dicha molécula.

Una de las técnicas de localización utilizadas es la espectrometría de centelleo. Las emisiones radiactivas provenientes del átomo excitado se convierten en fotones al paso por un sistema fluorescente sólido o líquido adecuado. En un fotocátodo los fotones son convertidos en impulsos eléctricos que serán amplificados en un fotomultiplicador. De este modo recibimos información acerca de la posición del átomo (y por tanto de la molécula) dentro de, por ejemplo, un sistema biológico.

Estas técnicas son útiles en numerosos ensayos o experimentos:

- Ensayos de actividad
- Unión Hormona-receptor
- Análisis de compuestos biológicos
- Marcación de moléculas biológicas (ácidos nucleicos, proteínas...)

³Plan de Gestión de Residuos Radiactivos

Todas estas actividades segregan residuos radiactivos:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Sólidos} \left\{ \begin{array}{l} \text{Compactables} \longrightarrow \text{Bolsas de 25l} \\ \text{Agujas hipodérmicas} \longrightarrow \text{Contenedores especiales} \\ \text{Cadáveres} \longrightarrow \text{Congelación en bolsas de 25l} \end{array} \right. \\ \text{Líquidos} \longrightarrow \text{Lecheras} \\ \text{Mixtos} \longrightarrow \text{Lecheras, bolsas...} \end{array} \right.$$

En el centro, los residuos son también seleccionados en dos grupos según su tiempo de vida medio:

- Si los residuos poseen $T_{\frac{1}{2}} > 100$ días son recogidos y almacenados por ENRESA.
- El resto son almacenados en el propio centro hasta que su actividad decae y pueden ser tratados como residuos convencionales.

1.4 ¿Qué hacer con los residuos?

1.4.1 Tratamiento de Residuos de Baja y Media Actividad: El Cabril

Los residuos radiactivos más abundantes son, por fortuna, los de baja y media actividad, cuyo almacenamiento resulta más sencillo y menos peligroso. No obstante, constituyen un problema importante. Se calcula que en España habrá que tratar $200.000m^3$ de RRBMA de los cuales un 70% provienen del desmantelamiento de CCNN.

En el mundo se han barajado numerosas soluciones de almacenamiento con mayor o menor acierto. La idea de todas ellas es la de alejar las emisiones nocivas para el hombre de los centros poblacionales o de riesgo en general. Algunas de las soluciones utilizadas hasta hoy han sido:

Vertidos en fosas oceánicas. Actualmente y por fortuna esta practica ha sido prohibida. Aunque el agua sea uno de los mejores aislantes contra las radiaciones (de hecho, el utilizado para combustibles gastados en CCNN) la radiación podría afectar a animales marinos y terminar llegando sus efectos al hombre por cadenas alimenticias. Los vertidos quedaban completamente incontrolados y cualquier fisura o accidente estaría fuera de nuestro alcance. No se puede pretender alejar los problemas simplemente de nuestra vista y olvidarse de ellos.

Minas abandonadas. Fue la solución tomada en Alemania. Se aleja el problema de poblaciones, el suelo actúa como buen aislante y el impacto ambiental es bastante reducido.

Galerías subterráneas. La solución tomada en Suiza, bastante similar a la alemana, difiere de la anterior en que las galerías son construidas expresamente para este fin.

Enterramientos Superficiales. En EEUU principalmente, donde existen grandes extensiones desérticas inhabitadas se optó por cavar pequeñas zanjas y enterrar a escasa profundidad los materiales radiactivos en bidones.

Enterramiento superficial con barreras de ingeniería. Es la solución tomada en nuestro país así como en Francia. Consiste en empaquetar los residuos en bidones, introducir los bidones en grandes cajones de hormigón y enterrar éstos para mitigar el impacto ambiental. En España añadimos un cajón de hormigón adicional entremedias que aumenta la seguridad y facilita el control de los residuos.

Enterramiento subterráneo bajo el mar. Ha sido la solución Sueca. Se han construido galerías bajo los fondos marinos donde los residuos son almacenados.

Tratemos ahora con mayor detenimiento la solución española.

En España la empresa encargada de Gestionar residuos radiactivos de baja y media actividad es ENRESA.

Existen contratos de retirada tanto con los pequeños productores como con las CCNN, donde se fijan las condiciones de entrega según la normativa vigente.

A las instalaciones de EL CABRIL llegan sólo RRBMA que recibirán uno de los siguientes tratamientos:

- Los residuos compactables, agujas hipoalergénicas, ropas de trabajo, guantes... que llegan a El Cabril en bidones especiales son pasados por una prensadora que los aplasta en forma de galletas para minimizar el volumen ocupado.
- Los residuos orgánicos como cadáveres de animales provenientes de investigación biológica son incinerados.
- Los residuos líquidos son disueltos entre hormigones especiales (a una proporción de $\frac{1}{3}$ de residuos y $\frac{2}{3}$ de hormigón) que los inmovilizan dentro de los bidones.
- Los gaseosos son licuados y reciben el mismo tratamiento que los líquidos.

Una vez tenemos los bidones, éstos se introducen en grupos dentro de cofres de acero y hormigón que son sellados completamente e introducidos a su vez en los grandes departamentos de hormigón donde son finalmente almacenados. Cuando uno de estos grandes departamentos se termina de llenar se sella y se mantiene en vigilancia mediante controles radiológicos periódicos.

Cuando todos los departamentos sean llenados y sellados se tapanán bajo varias capas de tierras que contribuyan a su aislamiento y mitiguen su impacto ambiental y paisajístico.

Todo el complejo está sometido a continuos controles radiológicos. Los desagües son controlados antes de salir del complejo y periódicamente se controlan los niveles radiológicos en los alrededores así como en las poblaciones de animales y plantas de la zona.

Con las instalaciones actuales, El Cabril será explotable hasta 2015.

1.4.2 Buscando sitio para los Residuos de Alta Actividad

El problema de los residuos de alta actividad está aún pendiente de solución definitiva en España. Sin embargo se generan residuos que han de quedarse por un tiempo mínimo

de 3 años en piscinas de la propia central. En general las CCNN ya tienen el problema previsto y construyen sus piscinas para albergar los residuos generados durante los 4 años que se supone durará la central. En casos en los que la piscina ha sido insuficiente, se han construido grandes contenedores con plomo como barrera γ que se almacenan en la propia central. Algunos países han barajado la idea de construir silos para el almacenamiento de los contenedores de todas las centrales e incluso de grandes piscinas comunitarias. Para el año 2010, España **debería tener ya construido** uno de estos silos o alguna otra alternativa.

Como tratamiento final, se barajan tres posibilidades:

- Almacenamiento Directo: En ALMACENAMIENTOS GEOLÓGICOS DE GRAN PROFUNDIDAD. La idea es que el mineral radiactivo estará seguro en su lugar de origen. La naturaleza lo almacenó en determinadas zonas de donde los materiales radiactivos no pudieron escapar. Se trata de estudiar dichas zonas y los componentes minerales que se encuentran en los alrededores. Los procedimientos estudiados para este tipo de almacenamientos son:
 - La barra de combustible es introducida en tanques de acero carbonatado. El acero se corroe formando goetita y magnetita, sustancias que no estropean los tanques de acero, es más, la goetita ayuda al aislamiento de uranio en suelos con condiciones reductoras.
 - El tanque de acero es introducido a su vez en una funda de bentonita, una arcilla extraída de yacimientos en la Serrata de Níjar (Almería) que posee muy buenas propiedades:
 - Es un muy buen aislante hidráulico.
 - Mantiene las condiciones físico-químicas idóneas para el acero.
 - Retiene muy bien los metales.
 - Todo ello se enterraría a unos 500-1000 m, en galerías separadas entre sí para evitar problemas de calentamiento (las uniones bentonita-acero pueden alcanzar los 100°C).
 - El yacimiento sería accesible en caso de posibilidades de reutilización (estos materiales son fuentes energéticas en potencia), de accidente o cualquier otro imprevisto.
- REPROCESO. Los combustibles gastados contienen un alto porcentaje de uranio y plutonio además de restos de actínidos variados. Estos últimos no son reutilizables hoy día y serían desechos directos. Sin embargo el plutonio y el uranio pueden ser separados del resto y reutilizados en otras CCNN. En Francia donde existen plantas que trabajan con plutonio se lleva a cabo un único reproceso, sin embargo, en España el reproceso está prohibido porque la mayor finalidad del plutonio es bélica.

Los residuos restantes después del reproceso quedan en forma de vidrios estables química y térmicamente a pesar de lo cual son altamente radiactivos y deben ser

almacenados debidamente. La mayor ventaja del reproceso es la gran reducción de la cantidad de desechos.

- **REPROCESO AVANZADO.** Está todavía en desarrollo. Se trataría de bombardear con neutrones los RAA de modo que:
 - Los actínidos se fisionen.
 - Los resultados de fisión capturasen neutrones.
 - Surgiesen nuevos elementos menos activos.

Conllevaría una reducción muy sustancial de los RAA. El Transmutador ADS es un proyecto en vías de desarrollo.

En Resumen, En España no sabemos qué hacer con los RAA. Cuando se clausuró la central de Vandellós I, el combustible gastado se envió a Francia para ser reprocesado, pero los vidrios restantes del reproceso nos serán devueltos en 2010 y hay que trabajar para decidir qué hacer con ellos.

1.4.3 Un caso práctico: Clausura y Desmantelamiento de Vandellós I

La Central Nuclear de Vandellós I era una central de tipo grafito-gas que trabajaba con uranio natural, propiedad de HIFRENSA. Comenzó a trabajar en mayo del 72 y se cerró en octubre del 89 a causa de un incendio en una turbina. En el tiempo que permaneció en actividad generó 55000 GWh.

El incendio que desembocó en su cierre no representaba ningún peligro grave en la central de riesgo radioactivo. El fallo fue debido a un deficiente ENGRASADO que provocó rozamientos y acabó por incendiar una turbina. La clausura no hubiese sido necesaria pero se decidió cerrarla porque era ya una central antigua y no interesaba económicamente volverla a poner en funcionamiento.

Cuando se planteó el problema de su desmantelamiento, en España no había precedentes y se plantearon tres posibles niveles de desmantelamiento:

- Nivel 1: Cierre bajo vigilancia. Consiste en que la central deje de funcionar pero todos sus componentes quedan sometidos a estrecha vigilancia en las instalaciones de la central.
- Nivel 2: Desmantelamiento parcial. Se desmantelan todas las instalaciones, piscinas, chapas metálicas, edificios adyacentes... salvo el reactor, que es sellado, protegido de intemperie, y vigilado periódicamente.
- Nivel 3: Desmantelamiento completo. Todos los componentes de la central son desmantelados y el área que ocupaba queda completamente limpia (green field).

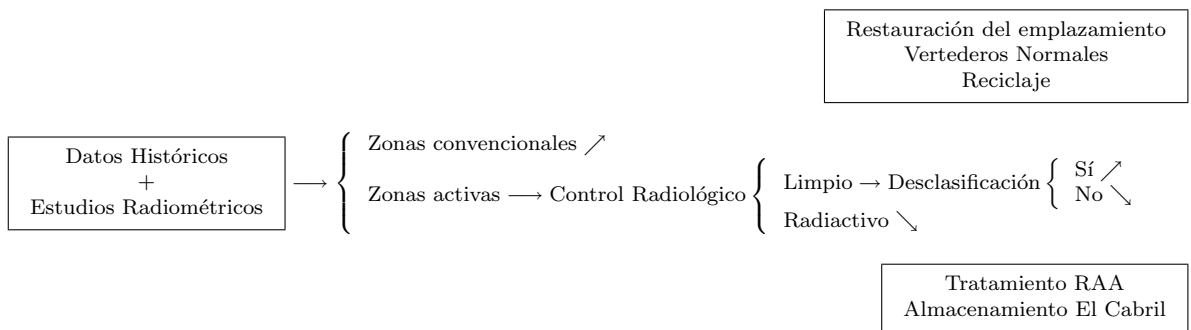
En España se optó por el desmantelamiento a nivel 2. Se estudió que en un tiempo de 25 años, la actividad de los componentes del reactor se vería mermada a sólo un 5% de la actividad en el momento de la clausura. Esto será en el año 2026, momento para

el cual habrá que desmantelar Vandellós II y se tendrá previsto el tratamiento para los RAA.

El primer paso para llevar a cabo un desmantelamiento es consultar archivos y datos históricos acerca del funcionamiento de la central. A continuación se realizan estudios radiométricos y se pasa a delimitar zonas activas de zonas convencionales. A las zonas convencionales se les aplica un proceso de desmantelamiento que enviará los materiales a reciclaje, para restauración del propio emplazamiento o a vertederos convencionales.

En cuanto a las zonas activas, se les aplica un proceso de desmantelamiento específico para materiales con riesgo radiactivo. Se realiza un control radiológico *in situ* que separe materiales activos e inactivos. Los que hayan sido catalogados como inactivos, serán desmontados y pasarán por otro proceso de desclasificación donde el control será más exhaustivo. Los materiales que aquí sean clasificados como limpios pasarán a recibir el mismo trato que los provenientes de zonas convencionales. Si diesen en este punto una actividad superior a los límites establecidos pasarían de nuevo al procesamiento de residuos radiactivos.

Éstos, los que dieron riesgo positivo en el primer o segundo control, serán desmontados según el tratamiento específico y acondicionados para su transporte a centros de almacenamiento. Los de baja y media actividad irían a El Cabril. En cuanto a los de alta actividad, se firmó un contrato en su momento con Francia para que los sometiese a reprocesamiento. Los vidrios resultado del reproceso nos serán devueltos en el año 2010.



El desmantelamiento de Vandellós I generó un coste final de 98 millones de euros.

2 El Problema Económico

2.1 Economía y Energía

El aumento de consumo energético en un país es el primer síntoma de despegue socio-económico. Este despegue comienza con una fuerte promoción del sector industrial que conlleva un abuso del petróleo como fuente energética básica. A medida que la sociedad se va acomodando, el sector servicios comienza a cobrar mayor importancia y aumenta desmesuradamente el consumo eléctrico.

A finales de los 60 en España, el petróleo generaba el 70% de nuestro abastecimiento energético. Desde hace 4 años la electricidad ha ido en aumento. Como dato significativo, el pico de consumo eléctrico, tradicionalmente en invierno, ha pasado a ocupar los días más calurosos del verano debido al auge del sector servicios en general y del turismo en particular en nuestro país.

Tanto para el abastecimiento de petróleo como de gas natural, Europa depende de EEUU y de terceros (especialmente Rusia y Argelia en Gas Natural). Hoy día, con 141 CCNN activas, Europa se abastece de energía en un 35%.

En España concretamente, nos abastecemos de energía eléctrica según las siguientes cifras:

Energía Eléctrica por fuentes:	{	Nuclear	→	24%
		Renovables	→	24%
		Carbón	→	28%
		Petróleo	→	8%
		Gas Natural	→	16%

Desde el año 96, el consumo de electricidad en España ha aumentado en un 46%. Desde el año 99 apenas tenemos un margen del 10% de energía disponible más que de energía consumida. Los precios de la gasolina, el petróleo, el butano... han ido subiendo desde el año 98 debido al progreso industrial de países como China o India, progreso con el que no contaban las estimaciones europeas (Hoy, el mayor importador de acero y petróleo del mundo es China).

Las energías renovables, entre las cuales la eólica ha sido explotada especialmente en España, no son energías de calidad porque no pueden sobreexplotarse en momentos de mayor demanda energética. Una posible solución a este problema pasa por la liberalización energética.

Históricamente en España hemos dependido de una centralización energética donde el gobierno por sí mismo toma decisiones de precios y contratos con escasa amplitud de miras. La liberación del sector eléctrico llevada a cabo en España pasa por la elección de una empresa que rija el suministro eléctrico. Las empresas suministradoras venden energía a operadores que, mediante los comercializadores, hacen llegar la energía a los usuarios finales. La liberación de la energía puede permitir una mejora en la calidad de la energía.

Todos estos datos nos dicen que en los próximos 8 años, el consumo eléctrico por persona crecerá en España un 41%. Con las cifras que hoy se barajan la situación será insostenible.

No podemos seguir dependiendo de importaciones de petróleo y gas natural cuyos precios seguirán en aumento muy por encima de las estimaciones europeas que no tenían en cuenta el desarrollo económico de países como China o India.

2.2 Un vistazo a las fuentes de energía

2.2.1 Mercado de Hidrocarburos: Carbón, Petróleo y Gas Natural

El carbón es nuestra primera fuente de energía. Se calcula que tenemos reservas para 200 años más.

Las reservas mundiales de petróleo no sostendrían de ninguna manera una economía equilibrada.

En cuanto al Gas Natural, es bastante abundante pero está alejado de los principales consumidores que deben depender de gasoductos. Representa el 18% del mercado europeo. En España tenemos inactivas 824 plantas que generan el 11% de la demanda (¡con sólo 9 CCNN se genera el 30%!).

El mercado de hidrocarburos es la primera fuente energética a la que los países subdesarrollados que comiencen a desarrollarse en los próximos años se abrazarán con más fuerza. Somos 6.000 millones de personas en el mundo de las cuales 2.000 no tienen aun acceso a la electricidad y 1.200 no tienen acceso a agua potable. Sólo 1.000 millones, $\frac{1}{6}$ del total, consumimos $\frac{3}{4}$ de la energía generada en el mundo.

Lo que nos dicen las cifras es que los países subdesarrollados se abrirán hueco en el mercado y eso incrementará en una primera aproximación los precios del mercado de hidrocarburos. España depende en ese sector completamente del exterior. Con un 49.5% de la potencia instalada, el sector nos abastece en un 57.2%.

2.2.2 Energías Renovables e Hidoeléctricas

Hoy día, las energías renovables representan tan sólo un cuatro o cinco por ciento en España. Se preve por la UE que para 2010 el porcentaje crezca hasta un 12%⁴.

La Energía producida por combustión de biomásas es viable para la quema de residuos urbanos porque ayuda a reducir la cantidad de residuos generados. También podría autoabastecer a centros industriales rurales (como por ejemplo en los centros de producción de aceite de oliva) pero a pequeña escala.

Las placas fotovoltaicas generan un gasto mayor que los beneficios obtenidos a gran escala. No obstante son soluciones posibles para comunidades de vecinos y para usos rurales y agrícolas como pequeñas estaciones de bombeo de agua.

En España se ha realizado en los últimos años una importante inversión en energía eólica. Hoy día somos la segunda potencia mundial en el sector con 5.000MW instalados. Existe un proyecto de construcción de un parque eólico marino en Trafalgar, consistente en 20 parques (de unas decenas de molinos cada uno) que se prevee producirán 1.000MW (aproximadamente como una central nuclear).

⁴Este dato no incluye las centrales de más de 5MW, pues a partir de dicha potencia no son consideradas energías renovables debido al enorme impacto ambiental que generan.

Tradicionalmente en nuestro país se ha explotado mucho la energía hidráulica. Tenemos instalado en energía hidráulica un 35.5% que producen tan sólo un 14.6%. Esto se debe a la poca calidad de esta energía que depende de las condiciones atmosféricas. En tiempos de sequía las centrales están prácticamente paradas, mientras que durante las crecidas de los ríos deben abrir compuertas porque se desbordan. No es una fuente energética para mirar al futuro.

2.2.3 Energía Nuclear

En Europa hay un total de 141 CCNN, y en el mundo 441. En España hay instaladas 9 CCNN que representan un 15% de la potencia instalada y producen un 28.2%. El motivo es que las CCNN pueden funcionar prácticamente 24 horas al día durante los 365 días al año. Además, no suelen utilizar el 100% de su capacidad generadora, por lo que en momentos de mayor demanda pueden funcionar con mayor intensidad cubriendo las necesidades, lo cual se traduce en una mayor calidad de la energía producida.

Además, la materia prima resulta barata y no crea una dependencia de otros países. Actualmente, el parque Nuclear español está compuesto por las siguientes centrales:

	Central	Potencia(MWe)	Año de Conexión
Centrales Nucleares Españolas En funcionamiento	Cabrera	160	1968
	Garaña	466	1971
	Almaraz I	973.5	1981
	Ascó I	979	1983
	Almaraz II	982.6	1983
	Cofrentes	1025.4	1984
	Ascó II	976.2	1985
	Vandellós II	1057.1	1987
	Trillo	1066	1988

La energía nuclear no plantea, en una primera aproximación, problemas de carácter económico, más bien soluciones al problema económico español.

2.3 Pero gestionar los RR también cuesta dinero...

El Parlamento español tomó, en 1980, la decisión de crear un organismo que controlase la seguridad de los emplazamientos radiactivos en nuestro país. Se creó el *Consejo de Seguridad Nuclear*.

En 1984 se crea una empresa dependiente del estado y sin ánimo de lucro encargada de gestionar los residuos radiactivos en España, llamada ENRESA y cuyos cometidos principales son:

- Recogida, transporte, tratamiento, almacenamiento y control de RR generados en España.
- Apoyo en seguridad civil a los servicios de emergencia en caso de accidente nuclear.
- Desmantelamiento de CCNN.

- Restauración medioambiental de minas de uranio.
- Investigación y desarrollo.

Veamos cómo y desde dónde se toman decisiones en España acerca de los residuos radiactivos:

- El *Parlamento* controla directamente al CSN. Esta conexión directa hace que el consejo y sus decisiones no dependan del gobierno sino del conjunto de todos los partidos políticos.
- El *CSN*, junto con la *dirección general de política energética y minas* (dependiente del *Ministerio de Economía*) y el *Ministerio de Medio Ambiente* dictan el PLAN GENERAL DE RESIDUOS RADIATIVOS, que lleva las directrices que ha de seguir ENRESA para la regulación y licenciamiento de emplazamientos y procesos.
- La *Sociedad Estatal de Participaciones Industriales* dependiente del *Ministerio de Hacienda* y el *Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas* dependiente del *Ministerio de Ciencia y Tecnología* son los que financian a ENRESA en un 20 y un 80% respectivamente.

Sin embargo la gestión de residuos conlleva más gastos que hay que financiar. Veamos de dónde salen:

- Los gastos generados por la gestión de residuos de pequeños productores son cobrados por factura directa a dichos pequeños productores.
- El cuanto a los gastos por gestión de residuos procedentes de CCNN, se cobrarían, en principio, mediante un porcentaje por energía suministrada a la propia compañía eléctrica. Sin embargo, la compañía eléctrica lo que hace es aumentar en un pequeño porcentaje sus tarifas con lo que el gasto final corre por cuenta del ciudadano en cada factura de la luz. El hecho de que se cobre un porcentaje constante permite la generación de fondos por anticipado que se desembolsarán cuando haya que gestionar desmantelamientos. Este tipo de gestión permite a su vez la generación de intereses por parte del capital almacenado que ayudan a aumentar los fondos acumulados.

3 El Problema Ecológico-Social

3.1 El mundo y la energía: Desarrollo sostenible

La *Organización de las Naciones Unidas* se reunió en Brasil en 1992 para hablar del problema energético y se plantearon los cuatro problemas que se presentan al mundo en cuestión de energía:

- Escasez de recursos.
- Desigual distribución de los mismos.
- Sostenibilidad⁵ a largo plazo.
- Incorporación de costes reales.

Las grandes potencias se están dando cuenta de que la emisión de residuos, especialmente CO_2 a la atmósfera ha de ser controlada a gran escala. La demanda de electricidad aumenta en el mundo y la combustión de hidrocarburos (especialmente carbón y petróleo) no es una solución desde el punto de vista de sostenibilidad (nos queda carbón sólo para unos 200 años y el petróleo es aún más escaso) ni desde el punto de vista ecológico, pues estamos estropeando nuestra atmósfera.

Surge una primera idea para afrontar el problema que es la de restringir las emisiones de CO_2 por países, pero en seguida se ve que una decisión así no sería justa. No podemos plantearnos moralmente restringir las emisiones contaminantes a los países subdesarrollados que luchan por hacerse un hueco económico a base de la generación energética mediante combustión de hidrocarburos. Sería frenar su prosperación económica.

Entonces nace el concepto que se quiso llevar a cabo en Kioto. Restringamos las emisiones en función de lo que se haya emitido hasta hoy. Es decir, que los países menos desarrollados podrían aumentar sus emisiones mientras que los países más desarrollados se verían obligados a disminuirlas. Dicha idea no llegó a fraguar. En Kioto, la principal potencia, EEUU, se negó a firmar y, a la espera de que Rusia tome su decisión, nada parece tomar forma.

3.2 Potenciamos otras fuentes de energía

Ya hemos visto que una sociedad basada en el consumo energético de carbón y petróleo no podría plantearse un desarrollo sostenible a largo plazo (son escasos y grandes contaminantes). La primera idea de sustitución es el Gas Natural.

3.2.1 El Gas Natural

Desechamos el carbón y el petróleo porque eran escasos. El Gas Natural es más abundante aunque está alejado de los principales consumidores y depende principalmente de gasoductos, pero éste no es un gran problema a nivel socio-ecológico.

⁵Entendemos por desarrollo sostenible a poder satisfacer las necesidades actuales garantizando las posibilidades energéticas futuras.

Carbón y petróleo producen gases nocivos (CO_2 , CH_4 , N_2O , Cl , $F\dots$) causantes del efecto invernadero y de la lluvia ácida. El gas natural es menos contaminante pero también produce gases nocivos como SO_2 , O_3 , smog...

Es posible que en un futuro existan soluciones que hoy se están estudiando para capturar la mayor parte de las sustancias nocivas procedentes de la combustión de hidrocarburos y disminuir significativamente la emisión de residuos. Pero tengamos en cuenta que estas medidas no generarían más que gastos a las empresas y no es poco probable que a éstas no les interesase en absoluto.

3.2.2 Energía Hidroeléctrica

Tengamos en cuenta que las centrales hidroeléctricas de más de 5MW no son consideradas energías renovables debido al gran impacto ambiental que causan. Valles enteros, con sus ecosistemas, plantas y animales e incluso asentamientos humanos son inundados, las presas impiden a los peces ascender por los ríos, sin olvidar que la construcción en sí misma de las presas genera muchos contaminantes...

Se está estudiando la construcción de presas hinchables que serían instaladas de forma temporal no perturbando tanto los ecosistemas, pero aún no ha sido probado.

3.2.3 Energía Solar

Cada día llegan a la Tierra cantidades inmensas de energía procedentes del sol capaces sobradamente de cubrir las necesidades del hombre. Sin embargo, hoy día la energía solar no es del todo limpia.

En el caso de las grandes centrales que concentran las radiaciones solares mediante sistemas hiperboloides de espejos para calentar agua, hemos de tener en cuenta que las grandísimas extensiones que estos sistemas ocupan para producir relativamente poca energía eléctrica suponen un gran impacto medioambiental.

Las placas fotovoltaicas son construidas a partir de silicatos y, a parte de lo costosas que resultan, el precio ecológico es también muy grande. Se contamina más construyéndolas de lo que se evita con la energía que generan.

No obstante, a pequeña escala, comunidades de vecinos o centros rurales, sí podrían cubrir necesidades de calentamiento de agua o calefacción, aunque el problema de los costes de construcción seguiría vigente. El desarrollo de nuevos materiales menos contaminantes en su construcción podría ser una solución energética.

3.2.4 Energía Eólica

En España ha sido muy potenciado su desarrollo y promoción como energía limpia y renovable. Sin embargo los parques construidos con decenas de molinos producen una importante contaminación paisajística y acústica. Además de haberse observado que las trayectorias tradicionales de migración de muchas aves son desviadas por estas instalaciones, muchas de ellas mueren golpeadas por las aspas de molinos de viento.

Si tenemos en cuenta que es necesario construir muchos molinos para producir energía de forma mínimamente rentable, llegamos a la conclusión de que el impacto ambiental

es grande. También hemos de tener en cuenta los altos costes de construcción de estos parques que son disminuidos de cara a las empresas constructoras en España por ayudas gubernamentales y que, quizá, sin éstas las empresas no verían rentables los parques eólicos.

3.2.5 Combustión de biomásas

Tengamos en cuenta que este sistema no deja de generar gases de efecto invernadero. Si son tomadas en consideración, es por el hecho de que las materias primas utilizadas son residuos generados por otras vías. A pequeña escala, en centros agrícolas o vertederos urbanos, debieran ser estudiadas y quizá utilizadas, pero no como solución energética a gran escala.

3.2.6 Energía Nuclear

Hasta ahora hemos estado hablando casi exclusivamente de problemas ecológicos, sin embargo hemos titulado este apartado *el problema ecológico-social*. ¿Dónde está el problema social?

La energía Nuclear produce cuantitativamente pocos residuos, y hemos visto que aunque la construcción de centrales es cara, con muy poquitas se producen grandes cantidades de energía, por lo que los gastos ecológicos de construcción son menores que los producidos por las centrales de Gas Natural, por ejemplo, como una de las alternativas más destacadas.

El problema de la energía nuclear está en el apellido de los residuos generados, *radiactivo*.

Como se comentaba en el prólogo de este escrito, existe un gran temor y desconfianza por parte de la opinión pública. Los residuos radiactivos son casi un tema tabú y encontrar emplazamientos donde los ayuntamientos permitan construir este tipo de instalaciones es un serio problema.

Tradicionalmente se han cometido muchas barbaridades, como los vertidos en fosas oceánicas e incluso EEUU sin ir más lejos ha realizado enterramientos superficiales en medio de desiertos, dejando los yacimientos prácticamente descontrolados.

Los residuos radiactivos no tienen por qué ser un gran problema ecológico, pero es necesario afrontar el tema con gran responsabilidad, tomando todas las precauciones posibles y no escatimando en gastos de ingeniería para tal fin.

Existe sin duda un importante problema social, cimentado fundamentalmente en las raíces de la desinformación. No se trata simplemente de convencer a los ayuntamientos de que el centro que se construirá junto a su pueblo no es peligroso y llevará beneficios a la comarca. Se trata de dar a entender a una nación completa la problemática, las soluciones existentes y dejar que sea ella misma quien decida si se trata de una buena solución.

4 ¿Qué podemos hacer?

4.1 Importancia de la ciencia

Se han planteado a lo largo de este documento los tres problemas básicos que existen en el mundo y en concreto en España alrededor de la energía nuclear y de los residuos radiactivos.

Tanto a nivel económico como ecológico existen problemas alrededor de las fuentes energéticas explotadas en la actualidad. Está claro que hay que realizar un giro en la política energética a nivel mundial. Sólo para la realización de dicho cambio se hace necesaria una importante inversión científica (en investigación de efectos ambientales, desarrollo y depuración de nuevas fuentes de energía. . .).

Hemos visto que una de las soluciones a dichos problemas pasa por la energía nuclear, cuya problemática subyacente pasa por el centro de este estudio. El tratamiento de residuos radiactivos requiere aún de grandes esfuerzos científico-tecnológicos.

Asimismo, dentro del tema de residuos radiactivos hemos de tratar un importante problema de desinformación y rechazo social que pudiera ser tratado mediante dosis de concienciación y divulgación científica.

Dentro de la búsqueda de soluciones, debemos estudiar el estado científico, político y social español. ¿Hacia dónde nos conduce? ¿Qué hemos de cambiar?

4.1.1 ¿Cómo funciona la ciencia en España?

En España, desde la era postnapoleónica, se han venido planteando una serie de problemas históricos:

Problema social: Europa se desarrolla a gran velocidad (revolución industrial) mientras España se ha mantenido estancada hasta el punto de que a principios del siglo XX, España tenía el mayor nivel de mortandad de Europa.

Problema político: Se plantea si la Iglesia debe influir o no en cuestiones políticas.

Problema del ejército: Preocupación por mantenerse como potencia militar.

Problema de la forma del estado: Devaneos entre república, monarquía. . . que desembocan en guerras civiles.

Problema del regionalismo: hasta la formación de las Comunidades Autónomas, Estatutos de autonomía.

Estas cuestiones dejan de lado en cierto modo el problema científico. España sufre un **TREMENDO ATRASO CIENTÍFICO**. Se van solucionando problemas tecnológicos a base de ingeniería y no se invierte en ciencia.

Con la llegada de la Transición política, son replanteados los problemas históricos de España, se producen transformaciones ideológicas en la Universidad pero no se fomenta un aplicación científica empresarial.

La Universidad española debería dejar de preocuparse tanto por la concesión de títulos y fomentar la reflexión, el realismo, preocuparse por el futuro empresarial de los nuevos científicos.

4.1.2 El modelo lineal

En EEUU, al finalizar la II Guerra Mundial, el gobierno tomó amplia conciencia acerca de la importancia de la ciencia gracias al papel decisivo que ésta tuvo durante la guerra (Bomba atómica, radares, submarinos nucleares. . .)

James Conrad, quien fuera presidente de la universidad de Harvard y trabajó en la oficina de nuevas armas durante la guerra, tuvo miedo de los nuevos avances científicos, de que la gente no pudiese comprenderlo, y propuso una reflexión histórica acerca de la ciencia y su importancia en las guerras y prosperación de los países.

A partir de estas reflexiones, toma forma en un trabajo de un ingeniero llamado Banebard Bush titulado *Ciencia, la frontera sin fin*, donde es propuesto el MODELO LINEAL:

- La investigación científica posee valor en sí misma.
- Existe una tensión positiva entre el valor teórico y práctico de los avances científicos.
- La investigación básica conduce necesariamente hacia el desarrollo tecnológico.
- Las inversiones en investigación y desarrollo son siempre rentables.

Al terminar la guerra, EEUU decide seguir este modelo. Entonces, la Unión Soviética lanza el primer satélite artificial, el *Sputnik*. La superioridad tecnológica de la URSS es achacada a un sistema educativo básico muy duro y cuidado. EEUU se lanza a la carrera espacial con el convencimiento de que deben ser superiores tecnológicamente si quieren serlo como nación, influenciados por este modelo lineal.

Durante el período de la guerra fría, la propaganda patriótica cobra vital importancia. Se invierte en carísimos e impresionantes desarrollos científicos sin increpar en su valor práctico. Como resultado, los científicos se acomodan a ser financiados sin la necesidad de presentar resultados prácticos.

Se podría decir que la idea general era la de hacer ciencia y luego buscar utilidad práctica a los descubrimientos.

4.1.3 Búsqueda de un nuevo modelo

Cuando estalla la revolución industrial, surge un subconsciente colectivo contrario al modelo lineal, partiendo del empirismo evidentemente práctico se buscan las teorías básicas que lo rigen.

Cobran gran importancia las figuras de "inventores", gente hábil con grandes ideas pero sin una formación científica universitaria. Las grandes ideas de que hablamos van encaminadas a incrementar la producción y la seguridad en procesos industriales.

De manos de estos personajes surgen las raíces de la termodinámica empírica, que sería teorizada posteriormente durante el s.XIX.

En EEUU, con el fin de la guerra fría, al caer el muro de Berlín, la propaganda deja de tener tanta importancia, por tanto las inversiones en investigación se controlan mucho más y comienzan a serle pedidas cuentas prácticas a los científicos.

En Europa, por ejemplo, a partir del acelerador de partículas de Ginebra comenzaron a hacerse avances científicos imponentes. EEUU siente que debe construir un acelerador de partículas mucho más grande y mejor para demostrar su superioridad como potencia mundial. Se proyecta el SSC que nunca se llevó a cabo porque no interesó a la nación. El dato es que si el muro de Berlín hubiese caído 3 años más tarde, EEUU hubiese construido el SSC.

La conclusión sacada a partir de todo esto es que el modelo lineal ya no vale, y se debe diseñar un nuevo modelo:

- La ciencia básica por sí misma no garantiza tecnología.
- A pesar de lo cual la ciencia es necesaria para la evolución tecnológica.
- Los investigadores necesitan estímulos, no sólo económicos sino en ambientes de trabajo agradables, sentirse dentro de proyectos importantes.
- Debe ser promovida una interacción entre universidades y empresas para el desarrollo de objetivos comunes.
- El nivel educativo debe ser alto no sólo en áreas científicas sino en general. La cultura histórica, por ejemplo, también es importante para desarrollar un criterio científico.

De todo esto, hoy día hemos llegado a plantear dos principios fundamentales:

1. Una comunidad científica aislada tiende a plantearse cuestiones poco prácticas o aplicables, demasiado básicas.
2. Si se ofrecen estímulos (contactos empresariales), una vez visto que la comunidad es buena en ciencia básica, una gran parte de dicha comunidad entrará en el mundo empresarial con ganas y posibilidades de competir.

4.1.4 La Ciencia en España es Escasa, Buena y Poco Aplicada

La empresa española tiene aproximadamente la mitad del interés mostrado por la media europea en innovación o desarrollo tecnológico. Esto implica una escasa interacción empresarial.

Nuestro país se está centrando en el sector servicios (turismo) dejando de lado el desarrollo tecnológico sin fijarse en modelos como el de Florida donde el turismo está muy desarrollado a la par que importantes instalaciones científicas. Debiera tenerse en cuenta por parte del campo empresarial español que ninguna empresa puede pretender sobrevivir hoy día si no posee las últimas tecnologías.

Podemos resaltar tres adjetivos aplicables a la ciencia española:

$$\text{La Ciencia española es } \left\{ \begin{array}{l} \text{Escasa } \left\{ \begin{array}{l} \text{en instalaciones} \\ \text{en inversiones} \\ \text{en número de personas} \end{array} \right. \\ \text{Buena } \left\{ \begin{array}{l} \text{Publicaciones} \\ \text{Congresos} \end{array} \right. \\ \text{Poco Aplicada} \longrightarrow \text{Escaso interés empresarial} \end{array} \right.$$

4.2 ¿Dónde buscar soluciones en España?

Tengamos en cuenta que en *física de materiales*, la Ciencia española es la séptima potencia mundial en cuanto al impacto de los resultados obtenidos. La contribución española a esta rama de la ciencia (de la que han de salir los principales desarrollos en cuestión de fusión nuclear o reproceso avanzado de RAA) es escasa pero de gran calidad.

Debemos llamar a la conjunción entre universidades y empresas españolas, y debemos tomar esta afirmación como una cuestión cultural. España debe apoyar a sus científicos para que éstos puedan sustentar el desarrollo tecnológico y socio-económico de la nación.

Enfrentarnos al problema de los residuos radiactivos es enfrentarnos a nuestro futuro como país. Si España, como parece, pretende dedicarse al sector servicios, no puede plantearse dejar de lado el desarrollo tecnológico-científico, pues eso nos dejaría a un lado del desarrollo europeo.

Hoy tenemos un serio problema energético que hemos de solucionar. No podemos seguir dependiendo de otras potencias europeas como hicimos al enviar los combustibles gastados a Francia. Empujemos nuestra ciencia y desarrollemos nuestras propias soluciones hasta el punto en que sean otros quienes dependan de nosotros.

Tenemos buenos científicos, lo que necesitamos ahora es que las empresas españolas e incluso nuestros políticos tomen conciencia de ello y dejen de comprar tecnologías extranjeras.

Desarrollando nuestras propias soluciones nos desarrollaremos como país.

Personalmente, no sé si la solución a los problemas energéticos seguirá un camino u otro, si la fusión nuclear será una realidad en un futuro próximo o si el reproceso avanzado disminuirá lo suficiente los residuos hasta niveles social y ecológicamente rentables. De lo que estoy seguro es de que los españoles no podemos cruzarnos de brazos a esperar a que otras naciones desarrollen sus tecnologías al respecto y entonces comprarlas y aplicarlas.

Las empresas deben invertir en INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO, pero también en DIVULGACIÓN CIENTÍFICA. La información genera cultura, la cultura, ciencia y la ciencia es el primer paso hacia los avances tecnológicos.

Cuando tanto los políticos como los empresarios españoles se conciencien de esto y actúen en consecuencia invirtiendo, no sólo en ciencia, sino en cultura, será cuando España despierte de su letargo social, tecnológico y económico poniéndose a la altura de las potencias europeas.

La energía nuclear es un arma poderosísima en buenas manos. Lo que no se puede pretender es jugar con algo que no se comprende porque el juguete puede volverse contra

uno mismo. Tampoco se puede ignorar estos nuevos juguetes o actuar al margen de su existencia. La energía atómica fue desarrollada quizá a demasiada velocidad. En España concretamente hemos construido centrales nucleares sin saber muy bien qué hacer con los residuos. Dejar de construir CCNN no es una solución a nuestros problemas ecológicos ni económicos. La solución hay que buscarla y para ello hay que investigar, HAY QUE HACER CIENCIA.