



knowsquare .

MANUEL MAYO RÚA

6 DE JULIO DE 2011

# NUCLEARES, ¿POR QUÉ NO? CÓMO AFRONTAR EL FUTURO DE LA ENERGÍA

---

RESEÑA DEL LIBRO DE MANUEL LOZANO LEYVA

knowsquare .

Privado y Confidencial

Prohibida su Distribución sin Autorización Expresa del Autor  
y Know Square S.L.

Alerta sanitaria en Alemania y, sin que todavía nos hayan acabado de explicar cómo, el porqué o de dónde, 300 millones de europeos dejan de comer nuestras hortalizas largándonos un pepinazo en la línea de flotación. Terremoto y posterior *tsunami* de efectos devastadores en Japón y a los gobernantes de medio mundo les falta tiempo para implantar de urgencia moratorias nucleares ¿Es fácil la movilización cuando se activan nuestros miedos?

*Título completo: "Nucleares, ¿por qué no? Cómo afrontar el futuro de la energía". Editorial Debate. Autor: Manuel Lozano Leyva. 1ª Edición 2009. 312 páginas.*

Lanzamos millones de *tuits* al día, consumimos compulsivamente noticias enganchados por llamativos titulares, devoramos con avidez decálogos sobre tal o cual cosa. Información de atractivo envoltorio y fácil digestión. Consignas y eslóganes... ¿Hiperinformación?

Una parte de nuestro bienestar proviene de nuestra capacidad de generar energía. Sin ella nuestro modo de vida actual se nos hace inconcebible. Planteamos el futuro de nuestro modelo energético o debatimos sobre la forma de producir la energía que tan ávidamente demandamos y... ¿nos podemos permitir una respuesta en forma de consigna?

Parafraseando el conocido eslogan, el autor moldea la contundente respuesta del original para, en forma de pregunta, devolverla como declaración de intenciones: *"El autor parte del supuesto de que lo que falta es información... Desde el título hasta las conclusiones el libro se mantendrá tercamente en su postura: informar y dar datos"*.

En la voluntariamente buscada ambigüedad de la pregunta del título caben las dos opciones: *"... ardorosos atacantes de la energía nuclear y no menos enardecidos defensores de ella"*.

El planteamiento es verdaderamente explosivo, hasta subversivo: *"Si al final el lector queda decepcionado porque esperaba que el libro le iluminara sobre el asunto, éste habrá cumplido su misión, porque lo que pretendía era darle los elementos para que pueda decidir (por sí mismo)"*.

## **Desoxidando neuronas**

*"Este es un libro de divulgación científica. Esto quiere decir que está escrito por un científico profesional que trata de explicar a las personas curiosas y no especialistas una serie de conceptos sin la ayuda de supuestos conocimientos previos ni de las matemáticas"*. Y de verdad que lo consigue. La facilidad con la que llega explicando conceptos (*a priori*) áridos es sencillamente pasmosa.

Qué pasó en el *big bang* y cómo tras sucesivas transformaciones llegamos a la formación de los planetas es el tema del primer párrafo del libro. Definir energía, trabajo, potencia y hacernos comprender sencilla e intuitivamente sus unidades: kWh (que no kW/h), Julio y vatio, es la continuación. De camino nos refresca el concepto físico de máquina, y su evolución desde Arquímedes porque *"... esta multiplicación de las máquinas es la que ha conformado el mundo moderno y sus problemas anejos"*.

La figura y vida de Edison (“... *un gran soñador a la vez que un trabajador incansable que nació en el momento y el lugar oportunos*”) sirve para ilustrar el surgimiento de la necesidad de generar y distribuir electricidad, y de paso retirar las telarañas de algún rincón del cerebro (AC/DC es algo más que *heavy metal*).

## Ciencias o letras. Un poco de Historia

Saber cómo fueron las cosas ayuda a entenderlas. Por ello sitúa en el hallazgo de la actividad nuclear un punto de inflexión en nuestra historia. No sólo por romper la milenaria creencia sobre la indivisibilidad del átomo, sino porque “... *la humanidad estaba a punto de adentrarse en una era en la que se podía autodestruir como especie pero, paradójicamente, esa tremenda capacidad bien podría garantizar su supervivencia como tal*”.

Becquerel y sus investigaciones sobre la luminiscencia (¿quién recuerda la diferencia entre fosforescencia y fluorescencia?) y cómo, por analogía con la capacidad de penetración de los rayos X, llegó a la conclusión de que las sales de uranio emitían rayos es el primer paso.

La tenacidad de los Curie, a pesar de la precariedad de sus medios, les llevó a establecer que había algunos tipos de átomos que tenían la exclusiva propiedad de emitir rayos. Radiactividad la llamaron. Identificaron algunos de esos elementos (torio, polonio, radio), cuya existencia ya había sido intuida por Mendeleiev, que dejó los correspondientes huecos en su genial tabla periódica, y caracterizaron tres clases de radiaciones eléctricamente distintas: positivas, negativas y neutras.

Lo de Rutherford es una vida de preguntas y respuestas geniales. Exitoso (11 de sus discípulos, además de él, fueron galardonados con el Nobel) y prolífico. Trabajando en la conductividad eléctrica de los gases, además de inventar el actual detector de humos, identificó que los elementos radiactivos emitían dos clases de rayos: alfa y beta (partículas + y -). Pero ¿cómo salían espontáneamente del átomo? Buscando la respuesta encontró el tercer tipo de emisión, la gamma (radiación electromagnética). Formuló la ley que cuantifica, con exactitud de segundos a miles de millones de años, el ritmo con el que los átomos de una muestra radiactiva se desintegran (¿a quién le suena el método del carbono 14 para la datación de muestras geológicas y arqueológicas?).

Junto con Geiger (que da su nombre a los contadores de radiactividad) lanza partículas alfa (+) contra un átomo (neutro) y algunas salen desviadas. Imposible. No hay repulsión eléctrica y la probabilidad de choque es prácticamente nula. La respuesta rompe la, hasta entonces incontrovertida, indivisibilidad del átomo: la carga negativa está en los electrones que orbitan relativamente alejados del núcleo en el que se concentra la carga positiva (de ahí la repulsión de las alfa). Surge entonces otra pregunta: ¿qué enorme fuerza de la naturaleza permite mantener estable un apilamiento tan grande de protones, todos positivos y por ello repeliéndose, en tan pequeño espacio como es un núcleo atómico? La respuesta está en los neutrones y en la “imponente fuerza nuclear”.

A principios del siglo XX Einstein, con sólo veintiséis años, formula la teoría especial de la relatividad (la velocidad de la luz es constante por muy rápido que se mueva el sistema de referencia en el que se mida), y meses después establece “... *una consecuencia curiosa de su nuevo principio de relatividad: si un cuerpo emite cierta cantidad de energía, su masa debería disminuir para equilibrar la pérdida*”. La ecuación que relaciona una y otra es la famosísima  $E=mc^2$ . Teniendo en cuenta el enorme orden de magnitud de  $c^2$  ( $10^{16}$ ) se abre la puerta a producir una tremenda cantidad de energía con muy poca cantidad de materia.

## Física ¿elemental?

El autor, en la introducción, propone una lectura no lineal del libro en la que cada uno salte o se concentre en función de sus intereses. Interrumpe en este punto el recorrido histórico para fijar una serie de conceptos que satisfagan la curiosidad de los más inquietos:

- Los distintos efectos biológicos de la radiación. Alfa y beta tienen poca capacidad de penetración y muy corto alcance, son muy dañinas en casos de sobreexposición o cercanía a la fuente emisora. Gamma es la más peligrosa, por su capacidad de penetración y mayor alcance, a pesar de su baja probabilidad de afección (tiene que “acertar” de lleno en el gen o molécula).
- En la tabla periódica de Mendeleiev hay 120 elementos. Si contamos los isótopos (en su núcleo tienen mismo número de protones que el átomo estable, pero distinto de neutrones) se alcanzan varios miles. Y la mayor parte de los isótopos son radiactivos.
- La de Perogrullo. Los elementos radiactivos desaparecen al desintegrarse. Lo que no es tan obvio es que desaparecen porque se convierten en otros elementos, también radiactivos, y así sucesivamente siguiendo las cadenas de desintegración que terminan en un elemento estable. Normalmente el plomo. Este es uno de los mayores peligros y está en la base del problema de los residuos radiactivos.
- Existe diferencia entre masa de los elementos que entran a formar parte de una reacción nuclear y la de los elementos resultantes. La masa “desaparecida” se transforma en energía a la que apellidamos nuclear. En cantidades proporcionales a  $90.000.000.000.000.000 (c^2)$ .
- Fisión, mecanismo por el cual ciertos núcleos pesados, como el uranio, liberan energía al “romperse”; masa crítica, cantidad de material que se tiene que acumular para que se desencadene la reacción; moderador, sustancia necesaria para que la energía se libere poco a poco y no “a lo bestia” como en las bombas.
- Los primeros segundos de vida del universo, cómo surgen las galaxias, el gas comprimido como origen de las estrellas, por qué llamamos así a las gigantes rojas, la agonía de las enanas blancas, cómo será el fin del sol, qué es una explosión supernova, qué impide que las reacciones nucleares se produzcan de forma natural, cuál es el parecido entre la barrera de fisión y el fondo de una botella de cava...

Sencillamente magistral. Con poco más de diez líneas para cada concepto hace que nos preguntemos qué había de difícil en la física de bachillerato.

## Chicago Años 30. Un mini Chernobyl

Sólo se entiende el avance de la ciencia en el contexto de cada época. Sentadas las bases por Einstein son el italiano Enrico Fermi y la austriaca Lise Meitner (de ascendencia judía) los padres de la fisión nuclear. Ambos convivieron con los regímenes de Mussolini y Hitler respectivamente y con la creciente tensión en Europa, y ambos emigraron. Él a los Estados Unidos y ella a punto estuvo y lo rechazó cuando supo que lo que le proponían era unirse al proyecto Manhattan.

Meitner entendió que un neutrón (neutro, claro) lanzado contra un núcleo podía “empujarle” lo suficiente como para desestabilizarle. Daría lugar a la fisión (rotura), acompañada de calor, de radiación y, lo que es peor, de algunos neutrones más. *“Aquello podía desencadenar una reacción incontrolada (reacción en cadena). Y tal desbarajuste no podía regir más que la famosa fórmula de Einstein  $E=mc^2$ ”*. Meitner intuyó el horror de la bomba atómica.

Fermi sabía que la reacción en cadena era sólo potencialmente cierta. Había que demostrarlo experimentalmente y la mejor prueba era controlar esa reacción en cadena. De conseguirlo habría encontrado una fuente de energía prácticamente inagotable. Así que no se le ocurrió otra cosa que montar un mini Chernobyl en un sótano de la Universidad de Chicago.

Había que medir el número de neutrones que resultan de la fisión al que denominó  $k$  (factor de reproducción). Si  $k=2$  de cada reacción de fisión salen dos neutrones. A su vez estos fisiónan dos nuevos núcleos y tenemos 4 neutrones resultantes ( $k^2$ ) y sucesivamente, 8, 16, 32, 64, 128... El ritmo “enloquecedor” de una reacción en cadena. Pero si  $k$  se mantiene por debajo de 1 entonces la reacción en cadena no se produce. Y si  $k$  se mantiene en 1, entonces tenemos la reacción controlada (régimen crítico) ¿Qué hace falta? Núcleos ligeros que “moderen” la reacción frenando la velocidad de los neutrones en los choques (por ejemplo el hidrógeno del agua aunque en este caso utilizó el carbono del grafito) y un elemento “controlador” que fuese capaz de absorber los neutrones sobrantes (en este caso el cadmio) y parar la reacción. En teoría.

Apilando uranio entre barras de grafito y láminas de cadmio montó el primer reactor nuclear. Una varilla de cadmio de 10 metros se iría introduciendo, ¡a mano!, a medida que el número de neutrones fuera aumentando para mantener la reacción en régimen crítico. Lo puso en marcha. Midió que la intensidad de neutrones se duplicaba cada dos minutos. Y mando parar introduciendo la varilla. El sí lo consiguió (no así en Chernobyl). Hora y media más y aquello habría producido una energía de un millón de kilovatios y habría matado a todos los que estuvieran por allí fundiendo el sótano donde tuvo lugar el experimento.

## Proyecto Manhattan y la bomba atómica

Que los físicos emigrados de Europa y las noticias que corrían convenciesen a Roosevelt de que Hitler era capaz de desarrollar una bomba atómica fue cuestión de tiempo. Pearl Harbor disipó las dudas. A partir de ahí solventar la infinidad de problemas “técnicos” sólo fue cuestión de recursos, organización y conocimiento. Y en eso los Estados Unidos son únicos.

130.000 personas, 25.000 millones de dólares, 13 centros de trabajo. La organización vino de la mano del Coronel Groves que acababa de terminar el Pentágono (el mayor edificio en planta del mundo). El conocimiento lo puso Oppenheimer, un científico convencido del poder de la disuasión. Fabricaron tres proyectiles.

El 16 de Julio de 1945 estalló en Nuevo México la primera bomba de prueba. Luego vinieron Hiroshima y Nagasaki.

La tesis del autor es: *“por lo que más se teme a la energía nuclear es porque el accidente de una central eléctrica se asocia a los efectos de una bomba atómica. Al menos en lo que se refiere a la radiación”*. Radiactividad a la que nombra como la amenaza invisible (¿Es fácil la movilización cuando se activan nuestros miedos?).

Además de las decenas de miles de víctimas causadas por las altísimas temperaturas originadas por la cantidad de energía liberada en el estallido de las bombas, se analiza la incidencia de la radiación en el incremento de los casos de cáncer o leucemia. Que cada uno, con los datos expuestos en el libro o tomados de otras fuentes, extraiga sus propias conclusiones.

La fusión nuclear (unión de dos núcleos para formar otro pesado) es conceptualmente fácil de entender una vez comprendida la fisión. Y su traducción en armamento, en un entorno de tensión creciente, es una consecuencia casi inmediata. Sólo hay que poner en contacto núcleos ligeros (hidrógeno) superando la repulsión eléctrica. Y eso se consigue con energía, con mucha energía. Por ejemplo calor. Tanto como el que se obtiene de la barbaridad de hacer estallar varias bombas de fisión. Estremece pensar que la temperatura alcanzada en la primera prueba de una bomba de este tipo fue de 15 millones de grados (la que hay en el núcleo del sol), que se hicieran más de 2.000 pruebas de este tipo hasta 1996, o que en la mayor de las pruebas realizada se alcanzase una potencia equivalente a 4.000 bombas de Hiroshima ¿Es fácil la movilización cuando se activan nuestros miedos?

Pero por muy relevantes que sean los datos el autor sostiene que *“... a relativamente pocos kilómetros del punto de la explosión y en poco tiempo, los efectos de la radiación liberada por una bomba atómica no son muy importantes. El problema de verdad lo generan los neutrones... que reaccionan fácilmente con los núcleos porque no se ven repelidos eléctricamente... y generan elementos radiactivos donde no los había...”*. El agua de la atmósfera contribuye a su extensión. Es la temida lluvia radiactiva que reparte los isótopos radiactivos haciéndolos llegar a la cadena alimentaria de donde pasan a nuestro cuerpo fijándose en órganos vitales.

## Centrales nucleares ¿Energía limpia?

Son sencillamente centrales térmicas. En vez de quemar combustible fósil en una caldera para obtener vapor que mueva una turbina en la que la energía mecánica de rotación se transforme en energía eléctrica (la dinamo de una bicicleta a lo grande), se provoca la fisión en un reactor que libera energía en forma de calor. Primera consideración. Al no haber combustión no se producen ni gases de efecto invernadero ni otros residuos contaminantes (procedentes de la combustión) ¿Y las enormes chimeneas de las centrales nucleares? Son sencillamente intercambiadores de calor donde se enfría el vapor.

Sus elementos fundamentales son:

- Combustible. Mal llamado porque nada se quema. Es el material a fisionar. Uranio natural, plutonio, uranio enriquecido (es más “rico” en isótopo fisiónable que el uranio natural).
- Moderador: el material que frena a los neutrones para hacerlos más eficaces. Agua, grafito, agua pesada (el deuterio “pesa” más que el hidrógeno al que sustituye).
- Refrigerante: agua ligera, agua pesada o CO<sub>2</sub>.
- Controlador: el material que mantiene el k de la reacción en 1. O menor que 1 en caso de emergencia, parándola. Cadmio, Boro, etc.

Y no hay más. La combinación de unos u otros materiales en función de la ingeniería, economía y opciones de diseño da un tipo u otro de centrales.

Dos afirmaciones lanza el autor de cierta enjundia: *“Los ingenieros dicen (en broma, pero sé que lo hacen de verdad), que calculan los grosores para que el edificio resista el peor terremoto, el impacto del avión más grande, etc., y duplican todas las magnitudes que les salen”*. Escrita en el 2009 Fukushima hace temblar esta afirmación. Nadie previó las consecuencias del empuje de una gran masa de agua sobre los trazados y equipos de los circuitos de refrigeración.

*“Un reactor nuclear no puede explotar en ninguna circunstancia por desastrosa que esta sea... La probabilidad de que esto ocurra en la vasija de un reactor es simplemente nula. Incluso si se fundiera todo, la masa crítica del material fisible no se alcanzaría jamás” ¿Qué paso en Chernobyl entonces?*

## **Harrisburg y Chernobyl**

Harrisburg es un ejemplo de acumulación de errores en situaciones de estrés cuando el exceso de información nos abruma. Tiene ciertos parecidos con lo recientemente ocurrido en Fukushima. Un problema en el circuito de refrigeración eleva la temperatura del reactor hasta su fusión parcial. La mezcla de isótopos, vapor e hidrógeno (muy combustible) rompe la vasija. El vapor mezclado con hidrógeno y otros gases explota (explosión química convencional, no nuclear) y el gas radiactivo se libera a la atmósfera. No hubo víctimas, aunque si importantes consecuencias: un muy desfavorable estado de la opinión pública norteamericana por la malísima gestión de la información por parte de la empresa responsable (los directivos de BP faltaron a clase cuando se estudió este caso y así les fue con el reciente vertido del Golfo de México); la total paralización del programa nuclear americano y la presencia de toneladas de residuos radiactivos en el lugar del accidente.

Detener la reacción nuclear no es equivalente a que se detenga el proceso de desintegración radiactiva. Este continúa y por tanto la emisión de calor, aunque en menor cuantía, sigue. Por ello es clave mantener la refrigeración del reactor, aun con la reacción detenida. En Chernobyl nos encontramos una decisión acertada en el nivel directivo: realizar una prueba para incrementar la seguridad de la central. Objetivo: reducir el lapso de tiempo de entrada en funcionamiento de las bombas que impulsan el refrigerante cuando se detiene la central. Decisión mal implementada en el nivel técnico: falta de formación o de motivación o ambas.

El resultado es, en palabras del autor, *“... la mayor catástrofe que se puede dar en el aprovechamiento pacífico de la energía nuclear”*. No se pudo detener la reacción en cadena (fallaron al introducir las varillas de control), que se descontroló. La energía producida fue diez veces superior a la máxima para la que estaba diseñado el reactor. Se produjo una explosión (convencional) que hizo volar las 2.000 toneladas del techo del edificio. Las altas temperaturas y el contacto con el oxígeno de la atmósfera originaron un incendio (el moderador en este caso era grafito, es decir carbón) que durante dos semanas lanzó a las capas altas material radiactivo. A partir de ahí lluvia radiactiva, contaminación de agua y suelo, incorporación a la cadena alimentaria,...

Sobre las consecuencias, afecciones, datos de víctimas... Que cada uno, con los datos expuestos en el libro o tomados de otras fuentes, extraiga sus propias conclusiones.

## **Residuos radiactivos**

A pesar de nuestra sensibilización medioambiental la opción, en general en cualquier proceso agrícola o industrial (incluido la generación de energía), sigue siendo la de esparcir los residuos disminuyendo su concentración. Así fue en tiempos con los radiactivos haciéndose barbaridades de todo tipo, tales como vertidos, poco menos que clandestinos, al mar o emisiones incontroladas a la atmósfera (pruebas nucleares).

Los cambios legislativos a nivel nacional e internacional han llevado a una gestión estricta basada en el control, tratamiento y concentración localizada.

Controlar los distintos tipos de radiación: “... a la radiación alfa la detiene una simple hoja de papel, la beta penetra algo más en la materia pero, por ejemplo, finas hojas de papel de aluminio culinario pueden absorberla, y los rayos gamma, dependiendo de su energía, sí que pueden exigir láminas de plomo o paredes más o menos gruesas de hormigón para protegerse de ellos”. Por lo tanto aislamiento y alejamiento ¿Cómo evitar, no solamente la radiación, sino la incorporación de isótopos radiactivos a los organismos vivos?

Tratamiento. Tanto los residuos de baja como los de media actividad se manipulan y “empaquetan” previo a su almacenamiento controlado. Solidificación en alquitrán u hormigón o vitrificación de manera que se impida su disolución e incorporación a la cadena alimentaria. Pero ¿qué hacer con los residuos de alta actividad producidos por los reactores nucleares o procedentes del desmantelamiento del arsenal nuclear?

Tratamiento nuevamente. Una gran parte de ellos (uranio y plutonio) se reprocessan para convertirlos nuevamente en combustible para las centrales (con lo que se reduce el volumen de residuos a almacenar o tratar). El resto (fragmentos de fisión y transuránicos) es el principal problema. Constituyen un surtido heterogéneo, que al radiar se desintegran convirtiéndose a su vez en otros, con vidas medias que van desde segundos a miles de millones de años ¿Solución? Primero almacenamiento, normalmente en las piscinas anexas a la propia central ¿Y a largo plazo? Vitrificación y acopio en almacenes centralizados, enterramiento a gran profundidad en zonas geológicas estables o inestables. Y tratamiento.

La transmutación es el proyecto científico técnico más esperanzador respecto a los residuos. Teóricamente fácil. La diferencia entre uno de los isótopos radiactivos del yodo  $^{126}\text{I}$  y el  $^{127}\text{I}$  estable (el que se usa como antiséptico) es... un neutrón. La diferencia entre el isótopo del Americio  $^{243}\text{Am}$  que tiene una vida media de 7.370 años y el  $^{244}\text{Am}$  que tiene una vida media de apenas 10 horas es... un neutrón. Se trata de manipular los neutrones de los isótopos para transmutarlos en otros menos peligrosos. El problema es que al irradiar con neutrones el surtido variado que suponen los residuos también se puede “... convertir a los efímeros y poco agresivos en agresivos y duraderos”. En eso está la ciencia hoy. “... Los resultados son unánimes en cuanto a la viabilidad, entendiéndola como una disminución global muy drástica de la radiotoxicidad y una vida media que para los isótopos más duraderos se reduce de millones e incluso cientos de millones de años a varios siglos”. En cualquier caso seguirá siendo necesario el aislamiento y almacenamiento a largo plazo.

Que cada uno, con los datos expuestos en el libro o tomados de otras fuentes, extraiga sus propias conclusiones.

## ¿Futuro? Muchas preguntas y algunas certezas

Transmutación de isótopos para el control de residuos, mini o micro centrales nucleares, la llamada fusión limpia, y en otros órdenes, los avances en materiales fotosensibles para el aprovechamiento de la energía solar, el aprovechamiento del hidrógeno, el desarrollo de la mareomotriz y cualesquiera otras fuentes renovables ¿Consumo y producción más eficientes? ¿Son todas opciones a desarrollar? En resumen preguntas a responder con esfuerzo investigador e inversor.

Lo cierto es que nuestro bienestar está basado en el consumo de energía y lo probable es que cada paso adelante en la producción se solapará en el tiempo con el incremento de las necesidades.

¿Indignados con la situación? Es posible ¿Preocupados por la crisis? Quizá ¿Desmovilizados por el miedo?... Eso sí que sería un auténtico pepinazo en la línea de flotación. Cerrar las puertas al conocimiento y a la investigación, único refugio verdaderamente efectivo,... *No, gracias.*

Que cada uno, con los datos expuestos en el libro o tomados de otras fuentes, extraiga sus propias conclusiones.

© Manuel Mayo Rúa

© Know Square S.L.