

Al amparo de espesas murallas de cemento se observa el funcionamiento de una pila atómica por medio de periscopios y se realizan las maniobras necesarias valiéndose de dispositivos enteramente automáticos.

Hacia la bomba atómica

III

Por el Coronel RICARDO MUNAIZ DE BREA.

El uranio, explosivo nuclear.

Por su relativa facilidad de obtención y por su acusada radioactividad pensóse desde hace mucho tiempo que el uranio era el elemento ideal para generar energía nuclear aprovechable por el hombre.

El uranio es un metal raro, localizado hasta ahora en un reducido número de yacimientos conocidos. Se le encuentra entre las llamadas "tierras raras", especialmente en la uranita o pechblenda. En forma de sulfato, existe en la johannita. Otras veces aparece en forma de óxido, peróxido, fosfatos, etc.

Se le conoce desde muy antiguo. Ya en 1770 fué estudiado por el químico alemán Martin Klaproth y aislado por el francés Peligot a mediados del pasado siglo.

En 1896, Becquerel descubrió que un compuesto de uranio ennegrecía a una emulsión fotográfica sensible. Atribuyó el hecho a un fenómeno de fosforescencia; pero queriendo asegurarse, repitiólo en una absoluta oscuridad, y comprobó, sin lugar a dudas, que el uranio por sí solo causaba aquel ennegrecimiento. Se estaba, pues, en presencia de una radiación desconocida. De este hecho, conocido por ella, partió María Sklodowska (la ilustre polaca que llegó a ser Mme. Curie) para llegar a aislar, dos años después, en unión de su esposo, el Radio, gran metal radioactivo y descendiente notorio de la familia uránica.

Operaron los esposos Curie con muestras alemanas de pechblenda de Joachimstal, hallando en ellas una dosis de radioactividad muy superior a la correspondiente a su co-

nocida riqueza en uranio. Existía, pues, allí un nuevo elemento no identificado; la búsqueda de ese elemento ignoto, más radioactivo que el uranio, condujo al hallazgo del Radio.

En 1902, el neozelandés Rutherford explicaba la radiación del uranio y del radio como una desintegración atómica. Más adelante comprobaba el químico inglés Soddy (Premio Nóbel) que el uranio libera espontáneamente 14 veces más energía que el radio; pero lo efectúa a un ritmo mucho más lento. En efecto, el uranio común viene a perder la mitad de su masa en 4.500 millones de años, mientras que el semiperíodo del radio oscila entre 1.500 y 2.500 años, siendo de 1.580 a 1.590 las cifras más frecuentes.

Conócense algunos yacimientos de uranio, a los que se llegó, casi siempre, buscando yacimientos de radio. Así, la pechblenda de Joachimstal (Bohemia), utilizada por los esposos Curie; la pechblenda del Canadá, descubierta en 1931 en Eldorado, al este del lago del Oso Mayor; la piritita de carnotita, en El Colorado occidental y en el Utah oriental (Estados Unidos); la piritita de vanadio, en Méjico; la autunita del Morvan, en Francia; la pechblenda de Cornwall (Gran Bretaña), etc.

En 1923 descubrióse un importante yacimiento en el alto Katanga (Congo belga), al que se atribuyó una riqueza del 70 al 80 por 100 del total uranio existente en el mundo. Otro importante porcentaje corresponde a las ya citadas minas canadienses de Eldorado, que son explotadas para servir la refinera de Port Hope (Ontario).

Francia posee yacimientos uránicos en Saint-Symphorien-de-Marmogne (Morván), estudiados hace un siglo por Peligot, con el nombre de autunita, por su proximidad a Autun, y abandonados hasta ahora; las muestras de uranio se exhibían en el museo local como una curiosidad geológica. Otros yacimientos se han descubierto después en Bousac.

Noticias recientes señalan como el mayor yacimiento mundial al descubierto en Stanhope (Queensland, Australia).

También hay uranio en la península ibérica. Portugal lo posee en Ujerisa y Vizeu. En España se admite existe uranio cerca del manantial de Valdemorillo (Madrid),

cuya radioactividad es de las más notables del mundo. En Segura de León, Torrelodones, San Rafael, Colmenar Viejo, el valle del Noguera Pallaresa y otros puntos se ha hablado asimismo de uranio español.

En estado natural, la pechblenda de Joachimstal es un óxido de uranio negro y pesado; la uranita de La Marmogne es un fosfato uránico cristalizado en cristales amarillos, con bellos reflejos verdes; la autunita es algo semejante.

El uranio puro es un metal de color gris acero, algo parecido al níquel y más duro que el hierro forjado. Sólo se oxida calentándolo al aire libre, y entonces quema y emite luz. Aleado en pequeñas dosis con el acero, aumenta la dureza y tenacidad de éste.

Las alteraciones del uranio.

Conócense varios isótopos del uranio, los cuales poseen propiedades muy diversas, que han permitido operar fructuosamente con unos y otros. El más abundante, como que integra el 99,3 por 100 del mineral bruto, es el Uranio I (U_{238}), de número atómico $Z = 92$. Le sigue en abundancia el Actinouranio (AcU_{235} , o U_{235}), de igual carga, que forma el 0,694 por 100 del mineral bruto; y aún existe, en proporción de 0,006 por 100, el Uranio II (U_{234}), también de $Z = 92$. Estas son las tres formas naturales.

Haciendo absorber un neutrón por un núcleo de U_{238} , se forma otro isótopo, el U_{239} (de $Z = 92$), que es la cabeza de puente hacia los llamados transuranios, cuerpos más pesados, que ya reciben nombres diferentes.

Así, el U_{239}^{92} emite una partícula β y da lugar (en 23 minutos) al Neptunio, cuyo símbolo y notación son Np_{239}^{93} ; y éste, por una transformación similar, da origen (en 2,3 días) al Plutonio, de símbolo Pu_{239}^{94} . Cuerpos éstos de excepcional interés como base de los explosivos atómicos, por lo que habremos de dedicarles alguna atención.

Haciendo aplicación de la hipótesis de Bohr sobre las tablas de Stoner y Main-Smith, la estructura atómica del U_{238} co-

responde a la siguiente distribución de electrones en los convencionales pisos K, L, M, N, O, P, Q, y sus respectivos subpisos:

U =	K	L	M	N	O	P	Q
	2	2-6	2-6-10	2-6-10-14	2-6-10-0-0	2-6-4-0-0-0	2

Se verá que éstos números suman exactamente 92, o sea la conocida carga eléctrica o número atómico Z del U₂₃₈.

El núcleo de U₂₃₈ tiene, pues, 92 electrones, y, por tanto, 92 protones; además, tiene 238 - 92 = 146 neutrones. En los otros isótopos, el U₂₃₅ tiene 235 - 92 = 143 neutrones; el U₂₃₄ tiene 234 - 92 = 142 neutrones; y el U₂₃₉ tiene 239 - 92 = 147 neutrones.

Por su radioactividad natural, la desintegración del U da origen a una serie en cascada de cuerpos radioactivos, cuyo período de vida o semiperíodo varía entre límites apartadísimos. Así, el U₂₃₈ tiene un semiperíodo de T = 4,5 × 10⁹ años; emite una partícula α y da lugar al Uranio X₁, cuya mitad dura T = 24,5 días. La transmutación prosigue con plazos muy variables, que oscilan entre millones de años y millonésimas de segundo, y abarca en total una serie de 17 cuerpos, entre ellos, el jonio, el radio, la emanación de éste (o radón), hasta ir a parar al Radio G, de masa atómica 206 y carga 82, que llega a ser plomo, cuerpo estable.

En la figura 9 puede verse gráficamente el esquema de esta evolución. Para cada cuerpo se indica su símbolo químico, con su masa y número atómicos, el semiperíodo radioactivo T, y la emisión de partículas α ó β. En la cascada aparecen sucesivamente los cinco isótopos del uranio, el jonio, el radio, el radón, siete isótopos del radio sin nombre especial, otro (el Ra F), llamado polonio, y otro (el Ra G), que es ya plomo estable.

La explosión del uranio.

El profesor italiano Fermi, en 1934, utilizando los procedimientos entonces conocidos, ametralló con éxito núcleos de uranio, hasta conseguir su rotura, la cual causó sensación en el mundo científico, en el que se creía que estos átomos ultrapesados

eran casi imposibles de romper. Fermi predijo además la aparición de cuerpos aún más pesados que el uranio: los llamados luego transuranios; y descubrió isótopos inestables de uranio. El químico italiano colocó entonces un importante hito en los trabajos nucleares.

Otros hombres—y mujeres—de ciencia dedicáronse después a operar sobre la ruta abierta por Fermi, y comprobaron que de la escisión del uranio podían resultar hasta 70 átomos diferentes, ya que se trataba de una verdadera explosión. Entre estos nuevos cuerpos figura el bario, según comprobaron Hahn y Strassmann en 1939.

Observando la notación del bario (Ba ⁵⁶/₁₃₇) se advierte que su masa y su carga atómicas exceden muy poco a la mitad de las

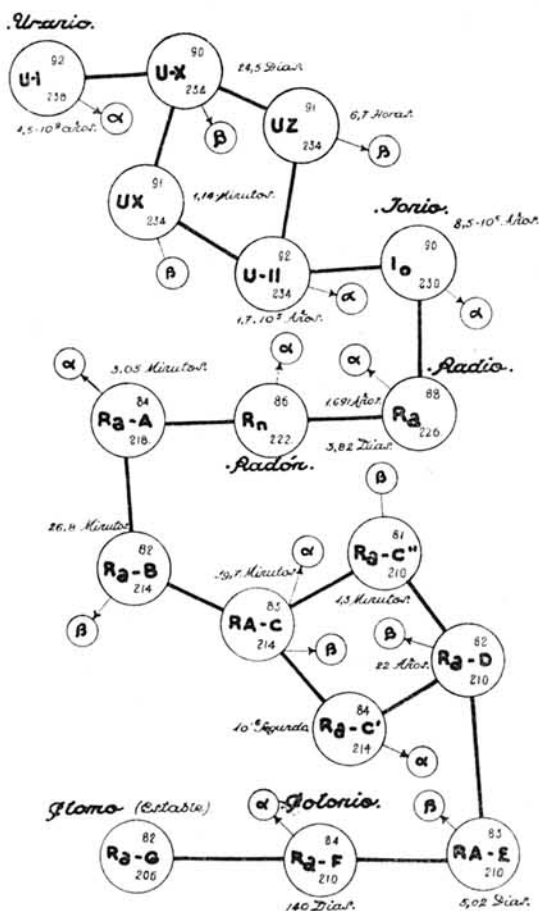


Fig. 9

Evolución del uranio por radioactividad natural. (Al lado de cada elemento se indica el período T de desintegración de la mitad de su masa, o sea la "media-vida".)

del uranio. El profesor Fritsch y la doctora germano-hebrea Lise Meitner dedujeron de este dato que también el núcleo de uranio se escinde en dos mitades o trozos de masas casi iguales; es un caso típico de perfecta escisión nuclear.

No tardaron en comprobar (en Francia) los profesores Joliot, H. Iban y Kowarski que en esta escisión se desprende un pequeño número de neutrones, de los que quedan libres tres, por término medio.

Descúbrense poco después los transuránicos predichos por Fermi: el neptunio y el plutonio. Bohr y Wheeler formulan luego nuevas teorías sobre la escisión nuclear.

En 1940, Nier y sus colaboradores descubren en Minneápolis (E.E. UU. de A.) que el U_{238} se escinde fácilmente atacándole con neutrones rápidos, y lo mismo el U_{235} , si bien este último es mucho más sensible al bombardeo con neutrones lentos. Y éstos dan buena cuenta, asimismo, del núcleo de Pu_{239} (plutonio).

De la posible energía de tales explosiones, puede darnos idea un cálculo del profesor T. F. Walls ("Engineering", 17 de agosto de 1945), según el cual una esfera de uranio de un metro de diámetro, al estallar, produciría en la superficie terrestre un verdadero cráter de tipo y proporciones lunares. Pero una masa de un metro cúbico de uranio, mezclado con un moderador adecuado, puede desintegrarse lentamente, suministrando energía eléctrica suficiente para abastecer durante varias décadas a una nación entera.

Según el profesor Palacios, el fenómeno explosivo desarrollado en la bomba atómica puede compararse—"grosso modo"—a una tormenta eléctrica de rayos, en número e intensidad jamás producidos, ni muy remotamente, en las tormentas de la Naturaleza.

La escisión del uranio, sin ser fácil, se consigue empleando proyectiles atómicos adecuados. Los más eficaces son los neutrones y los deuterones.

Parece lógico tomar como base para trabajos prácticos de energía nuclear el U_{238} , por su mayor abundancia relativa, aunque su átomo es difícil de escindir por bombar-

deo neutrónico. En efecto, el Uranio 238 tiene una propiedad muy interesante. Los neutrones que le llegan a una cierta velocidad crítica (llamada velocidad "de resonancia") son absorbidos por el átomo de U_{238} , sin producirse fractura nuclear, pero dando origen a un nuevo isótopo muy radioactivo: el U_{239} (de $Z = 92$). Este cuerpo emite inmediatamente un electrón, con lo que gana una carga positiva, y pasa a ser Neptunio 239 (símbolo: Np_{239}^{93}), que es también muy inestable, y emite, a su vez, otro rayo β , transformándose así en el plutonio (Pu_{239}^{94}). Este último, lo mismo que el U_{235} , es ya fácilmente fisurable por bombardeo con neutrones lentos.

En la figura 10 puede verse gráfica y esquemáticamente el mecanismo de estas curiosas transmutaciones nucleares. Los neutrones y los rayos β perdidos suponen energía aprovechable para multiplicar la reacción o producir elevación de temperatura en la masa. En la práctica (como veremos) se favorece lo primero y se procura limitar lo segundo, llegándose a la obtención de plutonio con un rendimiento industrial bastante aceptable, si que también con un elevado coste operativo. Esto no es todavía la bomba atómica, pero es—acaso—la base principal de su fabricación.

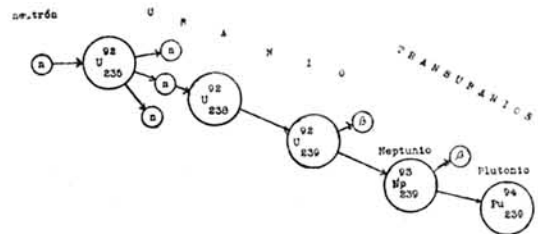


Fig. 10
Evolución del uranio en plutonio mediante neutrones.

Mas cuando el U_{235} ó el Pu_{239} es "atacado" con neutrones obtenidos por cualquier procedimiento, o con deuterones procedentes del "agua pesada" (D_2O , con deuterio, en vez del H_2O , con hidrógeno ordinario), entonces viene la escisión nuclear, que produce diversos elementos y libera neutrones. Si algunos de éstos son captados por nuevos núcleos, se repiten las fisuras o

escisiones, y la reacción se multiplica en forma exponencial, recibiendo el nombre de reacción "en cadena". Del número de neutrones que se vaya aprovechando depende lo que se llama el "factor de multiplicación" (concepto que no precisa ser aclarado), y del que depende el ritmo de la reacción, que puede convertir la primitiva cadena en una auténtica detonación. En tal caso, tenemos ya el explosivo, es decir, el alma de la bomba atómica.

Los efectos nucleares dependen mucho de la velocidad con que incidan los neutrones en el átomo bombardeado. Esta velocidad suele ser siempre considerable, pero puede ser moderada a nuestra conveniencia, haciendo que los neutrones atraviesen previamente un compuesto hidrogenado, tal como la parafina obtenida con agua pesada. Entonces se convierten en lentos (relativamente lentos). Tanto unos como otros, llegan a producir (como quedó dicho) la fisura nuclear. Sin embargo, para las reacciones de fabricación suelen preferirse los neutrones lentos; para la explosión de la bomba, los rápidos. En ambos casos pueden (y suelen) actuar también conjuntamente unos y otros.

En las bombas americanas han debido de ensayarse como cebo los neutrones lentos, los rápidos, el agua pesada y los deuterones, y los mismos neutrones erráticos, que casi siempre pululan en la inmediación de los cuerpos radioactivos, y por cuya intervención puede producirse una explosión nuclear intempestiva, sin provocación aparente. Nosotros ignoramos — naturalmente — cuál de estos sistemas es el adoptado en definitiva; pero hay que suponer que, con vistas a la seguridad y oportunidad de la explosión, han de intervenir fuentes bien controlables de neutrones o de deuterones.

La reacción en cadena, origen de la explosión nuclear del uranio, puede iniciarse de un modo parecido al esquema de la figura 11. Un haz dirigido de neutrones rápidos atraviesa un moderador a base de parafina, en el que pierden velocidad; luego, inciden en los núcleos de U_{235} , lo mismo que algún neutrón rápido que no atravesó la parafina. Un núcleo de uranio se escinde en dos mitades y libera tres neutrones: uno se pierde, otro va a formar el isótopo U_{238} , y

el tercero incide en otro núcleo de Uranio 235, fracturándolo. Dos de los neutrones liberados en esta nueva explosión van a romper luego otros tantos núcleos de uranio; son ahora seis neutrones los que irradian en busca de objetivo militar. El factor de multiplicación comenzó por valer una unidad, luego dos, y ahora tres, cuatro, cinco... La reacción se extiende ya en progresión geométrica, no como una cadena, sino como racimos o redes de cadenas. Es la explosión atómica, tan deseada como terrible.

Para llegar al explosivo atómico, la solución adoptada en la práctica parece consistir en obtener U_{238} en cantidad, con una pequeña proporción de U_{235} . Se provoca primero (y muy fácilmente) la desintegración de éste, liberándose en ella neutrones que son absorbidos por el 238, desarrollándose el proceso más atrás explicado, y cuyo desenlace es la obtención de plutonio. Este se aísla, y se cree es el explosivo—o uno de los explosivos—empleado luego en la bomba.

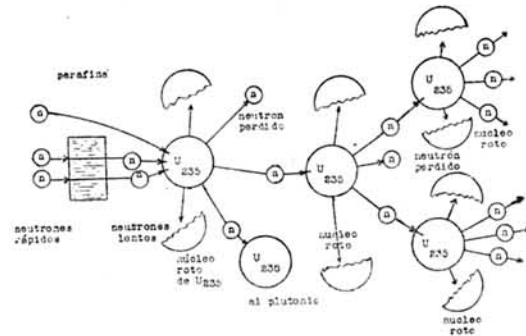


Fig. 11

Esquema de la reacción explosiva, en cadena, del uranio 235.

A través de un asesor especial, el doctor H. D. Smyth, que intervino en las investigaciones, algunos pormenores interesantes (que el Gobierno de los Estados Unidos, sin llegar a comprometer la seguridad internacional, ha permitido revelar) han sido dados a conocer con carácter oficioso, y ellos nos van a permitir revisar algunos de los supuestos técnicos que entre nosotros se han formulado acerca de la bomba atómica. Unos resultarán confirmados; otros, desmentidos. A las veces, la realidad fué mucho más sencilla que las creaciones de la

fantasía; otras, por el contrario, hubo que vencer insospechadas dificultades, que ahora se nos permite conocer. La información llegada a nuestras manos es aún escasa, pero nos bastará para aclarar ciertos conceptos excesivamente confusos hasta aquí.

Conviene, sin embargo, que empecemos por examinar separada y ordenadamente las principales referencias que sobre estos trabajos nos llegan desde los diversos países donde se llevaron a cabo. Comenzaremos por los de este lado del Atlántico. Y al intercalar este breve paréntesis narrativo entre la aridez de las fórmulas, haremos honor a nuestro propósito de trazar, más que un pretencioso cursillo, un entretenido reportaje.

La desintegración en la Gran Bretaña.

Del informe sobre los trabajos británicos en busca del explosivo nuclear, preparado durante su etapa de mando por mister Winston Churchill y leído en la Cámara por el actual "premier", Mr. Attlee, después de Hiroshima, y de otro informe oficial inglés dado a conocer en "Engineering" en agosto de 1945, podemos extraer algunos datos reveladores de la marcha de las investigaciones durante los días de la guerra.

Desde 1939—dice Churchill—se conocía la posibilidad de obtener un explosivo nuclear, pero no se podía, ni con mucho, prever que para 1945 habría una bomba atómica. Sin embargo, se tomó la decisión de buscarla.

Era la época en que había solamente que "mantener la cabeza fuera del agua". Se confió, pues, la ardua tarea de la investigación nuclear a los principales Centros universitarios: Oxford, Cambridge, Liverpool, Birmingham y el London Imperial College.

De la dirección de los trabajos hizo cargo el Ministerio de la Producción Aeronáutica, con el asesoramiento de una Comisión de hombres de ciencia presidida por sir George Thomson.

Una de las primeras medidas fue establecer el canje de comunicaciones sobre estos trabajos con los organismos similares de los Estados Unidos, y ya en el verano de 1941, el profesor Thomson pudo decir que era probable contar con la bomba atómica antes de que acabase la guerra.

El "premier" Churchill tomó entonces la

cuestión con gran entusiasmo, y valiéndose de su enlace oficial con los elementos técnicos (lord Cherwell), el 30 de agosto de 1941 enviaba la siguiente nota al Comité de Jefes del Estado Mayor:

"General Ismay a Jefe E. M. Central.— Aunque personalmente estoy satisfecho de los explosivos existentes, creo que no debemos estacionarnos en su perfeccionamiento, y que deben seguirse las sugerencias de lord Cherwell, bajo la responsabilidad del ministro sir John Anderson. Cebraré conocer su opinión."

El E. M. C. contestó al Primer Ministro aceptando la sugerencia y otorgando la máxima prioridad a los trabajos propuestos.

Como resultado de este acuerdo, fue creada una División especial, en el Departamento de Investigación Industrial y Científica, a la que se acordó enmascarar oficialmente bajo el inofensivo título de Tube Alloys (Dirección de Aleaciones para Tuberías). Al frente de esta empresa quedó Mr. W. A. Akers, de la Imperial Chemical Industries (I. C. I.). El Comité Técnico estaba integrado por eminentes figuras de la ciencia: sir James Chadwick (descubridor del neutrón en 1932), el profesor Peierls, los doctores Halban, Simon y Slade; más adelante incorporándose sir Charles Darwin, el profesor Cockroft (desintegrador del Litio en 1932) y los profesores Oliphant y Feather. Como supervisor actuaba el ministro sir John Anderson, con un Consejo Asesor.

El 11 de octubre de 1941, el finado Presidente Roosevelt escribía a Mr. Churchill en pro de una completa coordinación de las investigaciones nucleares entre ambos países.

En 1942 ya se preveía que las fábricas necesarias tendrían que ser de enormes proporciones. Este hecho, y el hallarse todo el territorio metropolitano batido eficazmente por la Deutsche Luftwaffe, fue causa de que se desistiese de continuar trabajando en las Islas Británicas, para trasladar a los Estados Unidos todos los elementos ya reunidos y confiar al secretario de Guerra, Mr. Stimson, el encargo de montar allí la fabricación de nuevos ingenios.

El Gobierno estadounidense tomó sobre sí el grueso de los gastos a efectuar. El del Canadá se hizo cargo de las minas de Eldo-

rado, y comenzó a suministrar materia prima (uranio), montando en su territorio una sección de fabricación que ocupaba 38 kilómetros cuadrados de terreno. La Gran Bretaña había aportado un brillante plantel de técnicos. La colaboración estaba en marcha.

Termina el informe de Mr. Churchill con esta impresionante confesión:

"Nosotros averiguamos algo de lo que el enemigo preparaba, y por medio de la RAF pudimos atacar con éxito las fábricas de agua pesada en Noruega. Logramos así adelantar, ganar por la mano a los alemanes. Si ellos nos hubieran aventajado en esta carrera, sería difícil predecir el resultado final de la guerra.

Al Presidente Roosevelt y a sus colaboradores debe llegar nuestra gratitud por su decisión de invertir las ingentes sumas que se necesitaban. ¡Quiera Dios que esté terrible hallazgo no sirva para destruir el mundo, y sea una fuente de riqueza en la paz!"

Hasta aquí extractamos el comunicado del "premier". Del otro informe oficial arriba aludido podemos obtener nuevos pormenores de interés.

El profesor Chadwick y sus compañeros, trabajando en la Universidad de Liverpool, hallaron en 1940 importantes datos nucleares y determinaciones conducentes a conocer las dimensiones críticas de un explosivo nuclear. Otras determinaciones se confiaron a los profesores Feather y Bretscher, en el Laboratorio Cavendish, de Cambridge, mientras por su lado Peierls y Fuch buscaban también las dimensiones críticas.

Pero la manipulación del uranio no tardó en plantear el magno problema de la separación de sus isótopos. El método de difusión gaseosa parecía el más prometedor, y a su puesta a punto se dedicaron con ahínco en el Laboratorio Clarendon, de Oxford, los profesores Simon y Peierls, cuya meta era, ahora, aislar el U_{235} en cantidad conveniente.

Una inesperada colaboración francesa vino entonces a reforzar las huestes científicas británicas.

En efecto: en Francia se venía trabajando, con el natural sigilo, en investigaciones nucleares, bajo la dirección del profesor Joliot (yerno de los Curie). Contaban con

165 litros de agua pesada (casi todo el "stock" mundial), adquirida en Noruega a la Norsk Hydro antes de la invasión germanica.

En junio de 1940, ante el derrumbamiento de Francia, Joliot envió a Inglaterra aquel tesoro líquido, en manos de los físicos franceses doctores Halban y Kowarski, que marcharon con él a Cambridge. Con apoyo británico continuaron trabajando en el Laboratorio Cavendish, y lograron probar que con óxido de uranio y D_2O en suficiente cantidad, los neutrones lentos provocaban una reacción en cadena, perfectamente gobernable.

El sistema era interesante, pero inadecuado para una guerra actual, por el prohibitivo lapso de tiempo que requeriría su desarrollo en proporciones industriales. Con todo, no fué abandonado, porque podía conducir a la obtención de plutonio.

En noviembre de 1941, los profesores americanos Urèy (descubridor del Deuterio) y Pegram, de la Universidad de Columbia, visitaron en Inglaterra los trabajos de la Tube Alloys, y a su regreso a Estados Unidos se interrumpieron en este país los trabajos nucleares, en espera de una perfecta coordinación entre ambos aliados, la cual quedó asegurada en la visita devuelta a Estados Unidos, a principios de 1942, por una Misión británica, compuesta por los profesores Akers, Halban, Peierls y Simon.

Y poco después se restringió en Inglaterra—donde todos los recursos eran pocos para la defensa—la actividad de la Tube Alloys. Desde entonces, en los Estados Unidos iban a proseguir, unificadas y sin restricciones, todas las investigaciones nucleares.

El programa adoptado era el siguiente: determinación de esenciales datos de fenómenos nucleares todavía desconocidos; investigación de la reacción en cadena en una bomba atómica; dimensiones y diseño de tal bomba; su posible efecto destructor; separación del isótopo U_{235} por el método de difusión gaseosa; diseño y construcción de máquinas prototipo; materiales de construcción; estudio de sistemas divergentes de neutrones lentos, en especial con agua pesada como retardador; fabricación del agua pesada y obtención de uranio metálico para formar pilas, etc.

De los primeros pasos en todas estas fases preliminares, encargáronse los siguientes técnicos: en Inglaterra, Peierls, Dirac y Wilson, en Birmingham; Simon, con Arms, Kurti y Kuhn, en el Laboratorio Clarendon; la Metropolitan Vickers, para la construcción de cierta maquinaria; las I. C. I., para preparar la difusión gaseosa, en un establecimiento de Billingham, que hubo de sufrir el bombardeo de la Luftwaffe. En otras tareas parciales colaboraron las firmas Metallisation Ltd., Mond Nickel Co. y Dyerstuffs. La I. C. I. preparó el uranio metálico, y su División de Metales lo forjó en barras para las pilas. Y el National Physical Laboratory resolvió diversas dificultades técnicas.

A fines de 1942 se acordó trasladar cerca de Chicago los trabajos con neutrones lentos que en Cambridge se desarrollaban, y a principios de 1943 se abrió en Montreal un gran establecimiento, con colaboración canadiense y estrecho contacto con los medios americanos. Lo dirigió hasta 1944 el profesor Halban, y después de aquella fecha, el profesor Cockroft.

La Imperial Chemical I. sugirió ensayar el sistema de transformación catalítica con fase de vapor, incorporado a un proceso electrolítico propuesto por Taylor (norteamericano) para obtener agua pesada en masa. Pero por entonces fueron conocidos los resultados que el profesor norteamericano Lawrence (autor del ciclotrón) venía obteniendo en la separación de isótopos por medio de una extrapolación del espectrógrafo Aston de masas, y en julio de 1943 se envió allá al profesor Oliphant para que estudiase el sistema. En marzo de 1945 regresaba Oliphant a Inglaterra, y se dio a resolver ciertos problemas de electrotecnia. (Tenemos la impresión de que sólo después de la victoria aliada es cuando el procedimiento ha quedado verdaderamente a punto, y creemos que hoy es la base de la separación de isótopos en las fábricas norteamericanas.)

Aún fué preciso nombrar diversos Comités para el conjunto estudio de determinadas cuestiones, como la investigación química, la difusión gaseosa, la metalurgia del uranio, etc. Los Gobiernos se reservaron la propiedad exclusiva de todo descubrimiento efectuado en los laboratorios y casas contratistas de los trabajos en cuestión, cosa

muy lógica, ya que con recursos estatales se venían llevando a cabo.

A fines de 1943 decidieron Roosevelt y Churchill intensificar la colaboración, a fin de acelerar los trabajos que habían de conducir a la obtención de la bomba atómica. Gran parte de los técnicos que en Inglaterra seguían trabajando bajo la "máscara" de la Tube Alloys, se trasladaron entonces a América. Por aquellas fechas, el notable físico danés Niels Bohr se evadió de su país, y el Gobierno británico lo contrató como asesor.

En 1944 se montaba en Petawara (Ontario, Canadá) una pila piloto de uranio, con moderador de agua pesada, facilitada por el Gobierno de Estados Unidos.

Fritsch, de Liverpool, y Bretscher, de Cambridge, pasaron a trabajar a Los Alamos (Nuevo Méjico), y allí les siguieron a poco los profesores Peierls y otros.

Con estas últimas medidas quedaba prácticamente abandonada toda la tarea nuclear en la Gran Bretaña; pero hoy, al cabo de los años, no podemos dudar del acierto de aquella orientación, que hizo posible la realización de la bomba atómica en un plazo asombrosamente breve para quien considere lo desmesurado del empeño y lo precario de los conocimientos nucleares en los primeros años de la contienda.

La desintegración en Alemania.

Mientras tanto, ¿qué hacían los alemanes?... Antes de la guerra, sus hombres de ciencia habían sobresalido en los estudios de física y química nucleares; después de iniciadas las hostilidades, ya no volvimos a oír hablar de sus trabajos, que, sin embargo, proseguían impulsados desde las más altas esferas.

Es sensible, por cierto, que no podamos conocer exactamente el alcance de aquellos trabajos en busca del explosivo atómico, pues los aliados, que no han sido remisos en reconocer las realizaciones germanas en la propulsión por reacción, nada nos dicen—fuera de aquella frase de Churchill—acerca de los resultados alcanzados por los técnicos del Reich.

Es indudable, sin embargo, que los trabajos iban por buen camino y que los aliados supieron de ellos lo bastante para entorpecerlos con éxito.

La persecución racista, al encaminar a los países anglosajones, por su origen hebreo, a notorios valores de la ciencia alemana, como el profesor Einstein y la doctora Lise Meitner, fué parte, sin duda, en la anulación lograda por los enemigos del Reich.

Lise Meitner sacó, como sabemos, importantes consecuencias sobre la escisión del núcleo de uranio en dos mitades, y poco después de su publicación fué desterrada de Alemania. Parece ser que entonces el Führer destinó un importante grupo de físicos a la investigación nuclear en el Instituto Kaiser Wilhelm, de Berlín.

Al invadir Noruega en 1940, los alemanes se incautaron de la gran Empresa hidroeléctrica Norsk Hydro, que venía produciendo agua pesada. Parece que en Rjukan montaron una fábrica de parafina, partiendo del deuterio en vez del hidrógeno ordinario. Este producto se destinaba, verosimilmente, a la obtención de deuterones, o al empleo como moderador de una pila uránica. En los primeros tiempos, Rjukan producía cinco kilos diarios de agua pesada.

La principal fábrica de agua pesada, sita en territorio alemán, fué destruida en 1943 por los bombardeos aéreos aliados. El Servicio de Información británico conoció entonces las actividades de Rjukan, localizadas en la fábrica Vemork, y envió—como paracaidista—a un joven evadido de Noruega, que organizó sobre el terreno una partida de saboteadores, con la cual logró causar importantes destrucciones en aquel establecimiento. Allí volaron 286 celdillas llenas de agua pesada: la provisión de un mes. Otra instalación, oculta en una isla de un lago noruego, fué igualmente saboteada (1942-43). Más adelante, la RAF continuó bombardeando todas estas instalaciones.

Trasladaron algunas los alemanes a la isla danesa de Bornholm, en el Báltico, y allí continuaron en el mayor sigilo sus trabajos nucleares; pero aquella isla fué apresuradamente ocupada por los rusos al final de la guerra, y pese a todas las protestas, tardaron bastante en evacuarla, llevándose consigo, para siempre, el secreto de lo que la ciencia germana había obtenido en aquellos establecimientos.

Basándonos en alguna información personal y directa, creemos, sin embargo, poder

afirmar que los alemanes llegaron a provocar experimentalmente explosiones atómicas sobre el mar del Norte o Báltico y sobre el frente del Este; mas parece ser que la comprobada dificultad de su control había impedido—por decisión del Führer—la extensión de su empleo en la reciente campaña. Es de temer que nunca lleguemos a saber la verdad.

La desintegración en Estados Unidos.

A lo largo del relato que en sucesivos trabajos iremos deduciendo del informe oficial norteamericano, podremos ver la tremenda complicación, desarrollo y coste de la empresa atómica, allí coronada con éxito.

Se contaba, evidentemente, con eminentes físico-químicos que poseían y habían realizado por sí mismos medios de trabajo excepcionales, pero que, en general, operaban desconectados y al servicio de los establecimientos que les habían empleado: Universidades o Laboratorios.

Así parece confirmarlo el dato de que al regresar dos de ellos de su visita a Inglaterra, a fines de 1941, se interrumpieron los trabajos en Estados Unidos, para reanudarlos sólo después del perfecto acuerdo de coordinación con la organización británica. Debieron de ser, pues, las investigaciones y los cálculos británicos, ya en marcha, los que decidieron la resuelta dedicación de los enormes medios norteamericanos a la realización práctica e industrializada del objetivo común: la obtención en masa del explosivo nuclear y su utilización en una bomba. Pero esto puede ser solamente una apreciación personal del autor.

Del informe del doctor Smyth se deduce, por el contrario, que el Gobierno de Estados Unidos comenzó a interesarse seriamente por la energía nuclear en marzo de 1939, con ocasión de una conferencia de altas autoridades navales. Ya se venía discutiendo entonces una declaración de Fermi, en el sentido de que, provocando la escisión del átomo de uranio, era posible provocar una reacción gobernable si se empleaban como proyectiles neutrones lentos, o bien una reacción de tipo explosivo, si se empleaban los neutrones rápidos. Y en el estío de 1940 había quedado claramente planteado el problema en torno a la concreta posibilidad de obtener una reacción en cadena.

En mayo de 1941, el Comité de la Academia Nacional de Ciencias hubo de examinar un notable informe redactado por el profesor E. O. Lawrence (creador del ciclotrón). En él se afirmaba que si una masa de uranio, con los isótopos sin separar, es sometida durante suficiente tiempo a una reacción en cadena, se llegaría a obtener plutonio en cantidades interesantes. Y hacía historia de las propiedades conocidas de este nuevo elemento, el de mayor peso atómico de la escala.

Debió de causar sensación aquel trabajo, por cuanto un semestre más tarde, en noviembre del mismo año, la Academia elevaba al Gobierno un informe sobre el empleo del uranio como explosivo militar, el cual debió de impulsar por modo decisivo los trabajos en busca de la bomba. En aquel luminoso trabajo se recogían afirmaciones, de cuyo interés va a juzgar el lector por sí mismo:

- 1.º Si se reúnen muy rápidamente masas suficientemente grandes de U_{235} , se obtendrá, por desintegración espontánea, una bomba de poder destructor superlativo.
- 2.º La cantidad necesaria de uranio no será, probablemente, inferior a dos kilogramos, ni superior a 100; es decir, será perfectamente manejable.
Del 1 al 5 por 100 de la energía de desintegración del U_{235} sería liberada en una explosión derivada de una reacción en cadena de fisuras. Es decir, de 2 a $10 + 10^8$ grandes calorías por cada kilogramo de U_{235} , o sea, equivalente a la energía de 300 toneladas de T. N. T.
- 3.º La cantidad necesaria de uranio es muy grande; pero si para efectuar una destrucción determinada se necesitan 500.000 toneladas de T. N. T., podrían reemplazarse por solamente 1 a 10 toneladas de uranio.

La separación de los isótopos del uranio es posible, incluso en la proporción necesaria.

Las sumas a invertir son difíciles de cifrar; pero, desde luego, considerables. Si no se escatiman recur-

sos, en tres a cuatro años pueden poseerse bombas atómicas en cantidad conveniente.

Como se ve, el informe no tenía desperdicio. Naturalmente, el Alto Mando no anduvo remiso en aceptar la sugerencia, y por de pronto, el National Defense Research Committee (N. D. R. C., o Consejo de Investigaciones para la Defensa Nacional) fué transformado en el O. S. R. D. (Office of Scientific Research and Development—Oficina de Investigaciones y Desarrollos Científicos—, cuya Sección S-1 había de dedicarse exclusivamente a operar con el uranio. Miembros notables de este organismo fueron los profesores Conant, Briggs, Compton, Breit, Lawrence, H. D. Smyth, Pegram y otros.

Hasta entonces, el apoyo oficial a estos trabajos se había dado con cuentagotas. En febrero de 1940 se supo la asignación de 6.000 dólares, de los presupuestos de Defensa, para el Comité del Uranio creado por elementos civiles en 1939. En agosto de 1940 se calculaban necesarios otros 40.000 dólares para nuevas determinaciones, empleando una masa de uranio que costaría 100.000 más. Pero a fines de año sólo se había firmado un contrato estatal con la Universidad de Columbia por valor de 40.000 dólares. Mas a fines de 1941 existían ya dieciséis contratos por un total de 300.000 dólares, con las Universidades de Princetown, Minnesota, Cornell, John Hopkins, Virginia, California y Chicago; con la Oficina Nacional de Patentes, con el Colegio Mayor de Iowa, con la Institución Carnegie, de Washington, y con la Standard Oil Development Co.

En noviembre de 1941, el N. D. R. C. tenía aprobados presupuestos por varios millones de dólares para el Laboratorio Radioeléctrico del Instituto Tecnológico de Massachusetts. El Comité del Uranio había pasado a integrarse en el N. D. R. C., y quedó embebido en la reorganización arriba explicada.

Así comenzó el año 1942, en el que se puso en marcha el acuerdo de coordinación con la Gran Bretaña. Las futuras realizaciones prácticas llevadas a cabo por los nuevos organismos conjuntos, irán apareciendo oportunamente en los sucesivos capítulos de este trabajo.