

Ciencia e industria en el desarrollo de la radiactividad: el caso de Marie Curie

*Xavier Roqué **

Arbor CLVI, 613 (Enero 1997) 25-49 pp.

Se argumenta que Marie Curie desarrolló sus investigaciones en radiactividad en estrecha relación con la industria de los radioelementos. Esta relación incluyó desde el desarrollo de procedimientos de extracción para diversas sustancias radiactivas, hasta la promoción de su propio laboratorio industrial. La actividad industrial de Curie se aviene mal con su imagen heroica de científica pura, sacrificada y carente de medios, imagen que, paradójicamente, se retrotrae a las campañas de Curie en los años 1920 por dotar a su laboratorio con «medios de acción industriales». Se verá que los valores dominantes del medio científico francés favorecieron la propagación selectiva de la imagen heroica de Curie, que fue luego aceptada acríticamente por la historiografía de la física del s. XX.

La ciencia de finales del siglo XX aúna de forma tan característica tecnología e industria, que a veces se cree que éste es un desarrollo reciente, propio de la *gran ciencia* de después de la Segunda Guerra Mundial¹. A ello contribuye el que la historiografía de la ciencia de la primera mitad de este siglo se halle dominada por historias cerradas sobre sí mismas, que empiezan y acaban en la propia ciencia, lo que es particularmente cierto en el caso de la física y de teorías tan emblemáticas como la relatividad y la me-

cánica cuántica ². En las dos últimas décadas, sin embargo, historiadores, sociólogos y antropólogos han renovado nuestra imagen de la actividad científica, prestando una atención sin precedentes al entorno material en que se desarrolla la ciencia, a su *cultura material*. Como consecuencia de este interés disponemos de numerosos ejemplos del acoplamiento de ciencia e industria a partir de finales del siglo XIX, desde el desarrollo de la electrotecnología a la construcción de los primeros aceleradores de partículas. El estudio de la metrología y los procesos de estandarización y medida se ha revelado, en este contexto, como un poderoso instrumento de análisis de la integración de ciencia, industria y sociedad ³.

La carrera de Marie Curie se presta admirablemente a este tipo de consideraciones, en particular al examen de las actitudes hacia la industria del medio científico francés en las primeras décadas de este siglo. Curie poseía una concepción integrada y plural de la radiactividad, en la cual la industria jugaba un papel fundamental. Nada refleja esta integración con mayor claridad que la dedicación de Curie a la metrología del radio. Curie asumió pronto el control de la metrología del radio en Francia, y jugó un papel clave en la comisión que fijó el primer estándar de radio internacional. Ésta es una faceta de la carrera de Curie que sus biógrafos no han podido pasar por alto, aunque el tratamiento del tema en las biografías disponibles tenga poco calado historiográfico. En este artículo me centraré sin embargo en un aspecto de la actividad de Curie que, si bien relacionado con el anterior, es mucho menos conocido: su relación con la industria del radio. Lejos de tener un carácter anecdótico u ocasional, las actividades industriales de Curie eran parte integral de su trabajo en radiactividad. En este sentido, es tan cierto de Curie como de Lord Kelvin, prototipo de científico emprendedor, que sus «actividades científica e industrial eran esenciales la una para la otra» ⁴.

Mi caracterización de la carrera de Curie parte del reconocimiento del papel central que jugó en ella la acumulación de radio y otras fuentes radiactivas. Dado que historiadores y biógrafos no han mostrado excesiva simpatía por la «obsesión» de Curie por amasar radio, argumentaré para empezar que estamos de hecho ante una estrategia

de investigación eficaz y coherente. Mi intención, sin embargo, no es vindicar el proyecto vital de investigación de Curie, sino poner de manifiesto su alcance real, pues la estrategia de Curie demandaba recursos industriales. En la parte central del artículo muestro cómo asimiló Curie el desarrollo de la ciencia de la radiactividad al desarrollo de la industria de los radioelementos —lo que la llevó a colaborar con numerosos productores de radio—, y promover la creación de su propio laboratorio industrial. Emerge así, a mi parecer, una imagen más coherente de la carrera de Curie que las que han sido propuestas hasta ahora, pero al mismo tiempo se plantean nuevas cuestiones. ¿Por qué se presentó siempre Curie como una científica pura, minimizando cuando no ocultando su relación (culpable) con la industria del radio? ¿Y por qué han sido tomadas durante tanto tiempo sus equívocas declaraciones al pie de la letra? En la última parte del artículo ofrezco un análisis preliminar de ambas cuestiones, a partir de los valores culturales y morales que los contemporáneos de Curie asociaban a la ciencia pura, y del desinterés de historiadores y biógrafos por la cultura material de la ciencia.

1. La importancia estratégica del radio

La acumulación de radio devino pronto para Curie un elemento esencial de su trabajo en radiactividad, hasta el punto de que cabe hablar de una *estrategia de acumulación*. Con ello quiero indicar la importancia central que, a lo largo de su carrera, Curie otorgó al amasamiento de radio y otras sustancias radiactivas. Es probable que esta actitud tuviera su origen en los frustrados intentos iniciales de la pareja por aislar el nuevo elemento. Durante el trabajo de identificación del radio, los Curie se vieron con frecuencia inmovilizados por la escasez de material ⁵:

Nos ha sobrevenido una gran desgracia. En el curso de una delicada operación con radio perdimos una cantidad importante de nuestro stock, y todavía no podemos entender la causa del desastre. Me he visto obligada a posponer el trabajo sobre el peso atómico del radio.

Experiencias como ésta decidieron a los Curie a producir radio a gran escala. En 1903, la pareja entró en negociaciones con el gobierno austriaco a fin de conseguir varias toneladas de residuos de mineral de uranio, proveniente de las minas de San Joachimstahl, en Bohemia, con un alto contenido en radio. En diciembre de 1903, poco después de recibir su primer Premio Nobel, Marie Curie escribía a su hermano Joseph ⁶:

Puede que consigamos preparar una cantidad mayor de esta desafortunada sustancia. Para ello necesitamos mineral y dinero. Ya tenemos el dinero, pero por ahora nos ha sido imposible conseguir el mineral. Nos dan esperanzas de que pronto podremos comprar el stock que antes nos fue denegado. Entonces procederemos a la fabricación.

Si la actitud de Curie responde inicialmente a los intentos frustrados por aislar el radio y determinar su peso atómico, su persistencia será más comprensible si observamos que disponer de un buen stock de radio compensaba con creces el dinero, el tiempo y el esfuerzo invertidos para conseguirlo. Jeff Hughes se ha referido con acierto a una «economía política del radio» que regulaba el desarrollo de la radiactividad a partir de la distribución y la disponibilidad de fuentes radiactivas ⁷. La importancia del radio venía dada por la extrema sutileza de los efectos radiactivos, que los situaba en los límites de la detectabilidad. Ya en 1900, Friedrich Giesel —químico industrial pionero de la radiactividad en Alemania— se maravillaba de la enorme actividad de los preparados de los Curie: «Ni que decir tiene que sus investigaciones son más efectivas, y que pueden ustedes observar fenómenos que no son siquiera perceptibles aquí». El que los Curie dispusieran, en 1904, de 280 mg. de bromuro de radio, era calificado por un visitante a su laboratorio, de auténtica «orgía científica»⁸. Esta opulencia, por supuesto, no siempre despertaba admiración. Aquellos que se veían obligados a trabajar con «dosis homeopáticas» de radio tendían a minimizar los logros de la pareja, como Rutherford al observar del descubrimiento del actinio por André Debierne, el colaborador más cercano de los Curie, que «no se le podía pasar por alto»⁹. De todos modos, ante la incerteza

disciplinar y ontológica en que se desarrollaba la nueva ciencia, la estrategia de acumulación de Curie era perfectamente apropiada y no fue cuestionada por sus colegas. El radio devotamente amasado por los Curie era la envidia del resto de investigadores en radiactividad.

Los esfuerzos de Marie Curie (Pierre murió en un accidente en 1906) por acumular, extraer y purificar radio, han sido sin embargo tildados de «obsesivos», sugiriendo con ello que no respondían a un fin científico legítimo, sino a la peculiar configuración psicológica de Curie. Éste ha sido especialmente el caso de los intentos de Curie por obtener el radio en estado puro, completados con éxito en 1910, un *tour de force* descartado como una reacción desproporcionada a las críticas de un puñado de químicos británicos. En una biografía reciente con el expresivo título de *Grand Obsession*, R. Pflaum se hace eco de la opinión expresada por R. Reid en su biografía: «Marie Curie estaba obsesionada... con la idea de que la comunidad científica dudaba que los elementos que ella pretendía como nuevos, desconocidos anteriormente de la humanidad, fueran elementos en realidad... Curie se dedicó [a producir radio puro] con la misma resolución y obsesión con que había atacado sus primeros sacos de pechblenda»¹⁰. Estas valoraciones negativas tienen al menos dos causas, que apunto con la mayor brevedad. Por un lado, la resistencia encontrada por la radiactividad en tanto que disciplina emergente, a caballo entre la física y la química, ha sido infravalorada; como ha señalado Hughes, «la nueva disciplina devino un campo de batalla entre físicos y químicos, una arena en la que intereses personales y profesionales, perspectivas teóricas, y modelos de práctica científica rivales entraron en conflicto»¹¹. Por otro lado, cabe relacionar las apreciaciones anteriores con cierta actitud de suficiencia intelectual ante la metrología, relegada a un segundo plano como actividad de importancia marginal para la ciencia y la historia de la ciencia. Conviene recordar a este respecto que los trabajos de Curie sobre el radio metálico y el peso atómico del radio estaban directamente relacionados con su actividad metrológica¹².

En cualquier caso, los Curie no se bastaban a sí mismos para realizar su estrategia de acumulación. La producción

de un solo gramo de bromuro de radio requería, en el mejor de los casos, el tratamiento de ocho toneladas de mineral de uranio, sin contar con los reactivos y el agua necesarios; es decir, los medios de una factoría, no los de un laboratorio de la época. Dadas las circunstancias, parecería que la vía industrial era la única posible, y de hecho otros investigadores se implicaron en la producción de sustancias radiactivas (F. Soddy y O. Hahn, por ejemplo, participaron en la fabricación de mesotorio, un sucedáneo del radio). La mayoría, sin embargo, siguió procurándose el radio a través de colegas y proveedores, y no intentó siquiera producirlo a gran escala ¹³. La relación de Curie con la industria del radio responde a una decisión estratégica singular, y no puede decirse simplemente que estuviera dictada por las circunstancias ¹⁴.

2. Curie y la industria del radio, 1899-1914

Pierre y Marie Curie recurrieron a un laboratorio industrial a los pocos meses de anunciar el descubrimiento del radio. En julio de 1899, la *Société Centrale de Produits Chimiques*, que producía y comercializaba algunos de los instrumentos diseñados y patentados por P. Curie, se aprestó a tratar varias toneladas de pechblenda de Joachimstahl a cargo de la pareja. La empresa parece haber aportado los reactivos y la mano de obra, a cambio de la comercialización de parte del radio producido ¹⁵. A partir de 1901, los Curie financiaron la adquisición de materia prima a través de premios y subvenciones de la Academia de Ciencias, incluyendo, en 1902, una sustancial ayuda de 20.000 francos, a la que habría que sumar los 70.000 francos del Premio Nobel al año siguiente ¹⁶. André Debierne, el colaborador más cercano a los Curie, asumió la dirección del proceso, bajo la atenta mirada de la pareja ¹⁷. Según un ingeniero eléctrico norteamericano que a finales de 1902 visitó el laboratorio de los Curie y los talleres de la *Société*, «todo el radio fabricado en Francia lo es bajo la supervisión del Prof. Curie, quien también verifica y clasifica las muestras» ¹⁸.

La disponibilidad de los Curie hacia la industria es menos inusual de lo que pudiera parecer. A finales del siglo XIX, los medios industriales y académicos franceses habían establecido tímidos contactos, propiciados por la percepción de que Alemania debía su poderío industrial, militar y económico a la creación de una industria de amplia base científica. El primer trabajo de investigación de M. Curie (un estudio de las propiedades magnéticas del acero templado, financiado por la Sociedad para el Avance de la Industria Nacional) respondía de hecho a esta tendencia. Este trabajo puso a Curie en contacto con varios ingenieros y directores de producción de la industria metalúrgica, lo que no le desagradó: prefería esta ocupación «mi-scientifique, mi-industrielle» a la enseñanza ¹⁹. Por otro lado, el trabajo sobre el radio se llevó a cabo en la Escuela Superior de Física y Química Industriales de París (*École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles*), que según T. Shinn era una excepción a la falta de empatía del sistema educativo francés con la industria ²⁰.

Si bien la colaboración de los Curie con la *Société Centrale de Produits Chimiques* no les reportó ningún beneficio económico directo, sí contribuyó a consolidar el stock radiactivo del laboratorio. Al iniciarse su colaboración, el mercado del radio era prácticamente inexistente, pero sus usos terapéuticos iban a generar una extraordinaria demanda. En Francia, la oportunidad fue aprovechada por el hijo de un industrial químico, Émile Armet de Lisle, quien en 1904 extendió el negocio familiar de producción de quinina a las sales de radio ²¹. Dada la preeminencia de los Curie y su implicación en los primeros intentos de producción del radio a gran escala, no es extraño que desde el principio se establecieran estrechos lazos entre la empresa de Armet y el laboratorio de los Curie. El laboratorio proveía de técnicos a la compañía, que se beneficiaba asimismo de ver asociado su nombre al de los Curie (los anuncios de Armet no dejaban de observar que la actividad de sus sales de radio era comprobada mediante los instrumentos de Curie, por uno de sus colaboradores). El laboratorio obtenía a cambio soporte logístico, llegando a disponer de una oficina en los talleres de la fábrica, «donde numerosos trabajos han sido realizados bajo mi dirección por colaboradores a mi servicio» ²².

La acumulación de radio tenía, además de un enorme valor estratégico desde el punto de vista científico, un marcado valor económico e institucional. En 1910, con la ayuda de Armet de Lisle, Curie había amasado su primer gramo de radio, o lo que es lo mismo, su primer millón de francos, el valor que le asignaba en un informe interno de 1912 sobre el radio en poder de su laboratorio. Sólo una décima parte de este valor correspondía a los gastos de fabricación, incluyendo la compra de mineral y los gastos de tratamiento facturados por la empresa de Armet. El resto, hasta 900.000 francos, representaba «una *plusvalía* proveniente del valor del descubrimiento, más nuestro [el suyo y de Pierre] trabajo personal durante varios años». Curie iba a capitalizar hábilmente este valor para fijar las líneas directrices de su Institut du Radium, que se encontraba finalmente en construcción. Para Curie, un instituto de estas características debía acumular «tanto radio como sea posible». Para ello puso a disposición del nuevo centro la mitad del radio en su haber, bajo la condición de que se utilizara no sólo para mantener el liderazgo del laboratorio en radiactividad, sino también para «contribuir al desarrollo de la industria de las sustancias radiactivas en Francia» y para «contribuir al progreso de las investigaciones médicas y biológicas»²³.

La colaboración de Curie con la empresa de Armet se intensificó en los años previos a la Primera Guerra Mundial. En 1913 Armet de Lisle preparó un ambicioso plan de expansión de su empresa. El proyecto incluía un análisis detallado de las proyecciones de mercado, las bases financieras, y el valor comercial del radio. Curie, Debierne, y Erich Ebler, profesor de química en Heidelberg, constaban en el consejo técnico de la nueva «General Radium Production Company (Armet de Lisle's Radium Works)». Los científicos franceses retiraron su apoyo a la empresa en el último momento, debido principalmente a sus dudas ante la eficacia de los métodos de tratamiento patentados de Ebler, que iban a suplementar el método de extracción original de Curie. Su implicación en el proyecto, en cualquier caso, revela la estrecha relación que había llegado a establecerse entre el laboratorio y la fábrica²⁴.

3. Conexión industrial e investigación

Para evitar que se concluya de lo anterior que la relación de Curie con la empresa de Armet era eminentemente utilitaria y unidireccional —que Curie y sus colaboradores se servían de la industria de manera ocasional, para satisfacer ciertas necesidades prácticas— discutiré en esta sección los efectos de la conexión industrial sobre los trabajos de investigación del laboratorio. Éstos eran tan profundos como diversos, comprendiendo desde la estructura docente del Institut du Radium hasta la orientación general de sus líneas de investigación.

El régimen educativo de los laboratorios Curie, en la Sorbona a partir de 1906 y el Instituto de Radio a partir de 1918, no estaba dirigido a una carrera académica (ni podía estarlo, dada la precaria institucionalización de la radiactividad en Francia), sino que preservó el carácter técnico y aplicado de las *grandes écoles de sciences appliquées*, como la Escuela Superior de Física y Química Industriales. De hecho, esta escuela era una de los primeros afluentes del laboratorio: «El paso de la Escuela de Física y Química al Instituto de Radio no tenía nada de excepcional. Muchos otros lo habían realizado antes que yo. Los Curie, y después Mme. Curie... se rodearon de antiguos alumnos de la escuela»²⁵. Los cursos de radiactividad que ofrecía el Instituto de Radio no estaban sólo abiertos a estudiantes de la Universidad de París, sino también a «químicos o físicos que, con una finalidad industrial o cualquier otra, deseen seguir los ejercicios de manipulación sin pasar un examen»²⁶. En este contexto, no era raro entre los colaboradores de Curie el tener un pie en la ciencia y otro en la industria. Debiérne, como se ha indicado, coordinó la implantación en la factoría de Armet del sistema de extracción del radio desarrollado por Curie. Albert Laborde, médico de formación, se convirtió en el ingeniero técnico de la Compagnie Générale de Radiologie²⁷. Esta pluralidad generaba sus tensiones. En 1909, Curie forzó la dimisión de Jacques Danne, su asistente personal (*preparateur*) y editor de la revista *Le Radium* desde su aparición en 1904, debido a sus múltiples ocupaciones fuera del laboratorio²⁸. Sin embargo, la extraordinaria popularidad de la radiactividad permitió a Danne

montar un gran laboratorio-escuela en Gif, cerca de París (*Laboratoire d'Essais des Substances Radioactives de Gif*), que más tarde extendió sus actividades a la comercialización de sustancias radiactivas.

La misma capacidad para salvar la distancia entre el laboratorio y la fábrica caracteriza la producción científica del laboratorio Curie. La preocupación constante de Curie por la identificación y la purificación de sustancias radiactivas, aparece reflejada en sus artículos y libros de texto en las detalladas descripciones de procesos industriales. El desarrollo de técnicas de extracción industrial no sólo planteaba nuevos problemas, sino que influía sobre el tipo de investigación del laboratorio ²⁹. Estudiantes y colaboradores eran fácilmente contaminados por la máxima de la pureza y la acumulación. Así, antes de la introducción del concepto de átomos isótopos, la identidad química de distintas sustancias radiactivas preocupaba sobretodo a los miembros del laboratorio porque hacía «muy difícil encontrar una reacción simple que pueda servir como método de concentración» ³⁰. El laboratorio producía también de forma regular tablas de constantes de las sustancias radiactivas, y tablas resumiendo las características y la distribución de los minerales de uranio y torio alrededor del mundo ³¹. Especial atención merecía asimismo todo lo relacionado con la instrumentación, en particular la relacionada con la medida y la estandarización del radio ³². El desarrollo de nuevos instrumentos iba dirigido con frecuencia a la extensión fuera del laboratorio de técnicas de medida. El electrómetro portátil de B. Szilard, por ejemplo, lo hacía indicado para trabajos de prospección, y el mismo Armet de Lisle diseñó un electroscopio portátil para el análisis de campo de minerales radiactivos ³³.

La lógica de la acumulación y la estandarización disolvía la distinción entre la física y la química de la radiactividad, pues ambas tenían cabida en un instituto de radio. Esta fluidez disciplinar era común entre los investigadores de la radiactividad antes de la Primera Guerra Mundial, y no se limitaba a los institutos de radio. En los laboratorios todavía indiferenciados de la nueva ciencia, el mismo investigador preparaba una muestra y medía su radiación. La extensión de la estandarización, al iniciarse la década de 1910, introdujo una primera división del trabajo. En In-

glaterra y Alemania, los institutos metroológicos nacionales establecieron secciones para los estándares de la radiactividad, liberando a los laboratorios de investigación de esta carga. Al mismo tiempo se acentuó la distinción entre los aspectos físicos y químicos de la nueva ciencia. En 1913, por ejemplo, cuando Rutherford escribe su segunda monografía sobre el tema, señala que «estaría fuera de lugar, en un tratado de física como éste, dar los detalles químicos del procesamiento de los residuos de mineral de uranio [para extraer radio]»³⁴. Durante la guerra, el departamento de radiactividad del Instituto Kaiser-Wilhelm de química de Berlín —el centro de estudio de la radiactividad más importante de Alemania— será dividido en una sección física, dirigida por L. Meitner, y una sección química dirigida por O. Hahn.

Estas distinciones, sin embargo, nunca tuvieron mucho sentido en el Instituto de Radio de Curie. Mientras la química de la radiactividad devino para Rutherford un simple medio para conseguir sus fines, y la distinción entre las vertientes física y la química de la disciplina fue institucionalizada en Berlín, en el laboratorio de Curie no existía jerarquía alguna entre el desarrollo de instrumentos, las técnicas químicas de concentración y la investigación sobre la física de las radiaciones. En el Institut du Radium, todo ello estaba al servicio de la acumulación y la purificación, bases tanto de la ciencia como de la industria de la radiactividad. La metrología del radio era un elemento clave en este esquema, y Curie la controló férreamente. Ante la falta de un laboratorio de medidas nacional, Curie promovió un «Service de Mesures» propio, que actuó de hecho durante años como servicio nacional francés de medidas de la radiactividad. Esta sección del laboratorio nació de la necesidad de controlar el contenido en radio de las sales comercializadas en Francia, lo que nos lleva de nuevo al tema central del artículo³⁵.

4. Curie y la industria del radio: 1918-1934

La actitud de Curie hacia la industria del radio experimentó un cambio sustancial después de la Primera Guerra

Mundial. Por un lado, Curie iba a extender y diversificar sus contactos con las empresas productoras de radio, aprovechando para ello las relaciones establecidas durante la contienda con C. Exbrayat, del Ministère de la Reconstitution Industrielle. Pero al mismo tiempo Curie iba a instigar la creación de su propio laboratorio industrial, como parte integral de un futuro centro nacional para el estudio de la radiactividad. Consideremos en primer lugar el laboratorio industrial.

La idea de crear un centro preparado para tratar grandes cantidades de mineral radiactivo, le sobrevino a Curie a poco de reanudar su actividad al frente del Instituto de Radio, a finales de 1918. Los productores franceses de radio (había tres al empezar la guerra) habían dependido siempre de las importaciones de mineral. Después de la guerra no sólo debían afrontar la escasez de materia prima, sino también la competencia de los productores norteamericanos, que se habían hecho con el mercado. Esta situación amenazaba la continuidad de un soporte material y logístico crucial para su instituto, y la reacción de Curie no se hizo esperar. En diciembre de 1918 Curie repitió los argumentos esgrimidos en 1912 y cedió prácticamente todo el radio *en su poder*, un gramo, al instituto³⁶. Pero temiendo que incluso esta cantidad formidable pudiera revelarse insuficiente a largo plazo, Curie redactó un ambicioso proyecto de ampliación del instituto, en el que se argumentaba con fuerza la necesidad de dotarlo con un laboratorio industrial propio. Explotando sentimientos nacionalistas exacerbados por la guerra, Curie pintaba una imagen patética del estado de la radioterapia y la industria del radio en Francia. La ciencia de la radiactividad, «nacida en Francia, como resultado del trabajo de investigadores franceses», prosperaba en otros países. Esta situación sólo podía remediarse con la colaboración entre ciencia e industria, «más necesaria [en el dominio de la radiactividad] que en cualquier otro ámbito». La creación de un laboratorio industrial aparecía como «un elemento de progreso esencial en el estudio de los radioelementos y sus aplicaciones»³⁷. En un informe elaborado poco después se lee asimismo: «La creación de un laboratorio industrial es, en general, acorde con las tendencias actuales, según las cuales la Ciencia y sus aplicaciones deberán mar-

char, de ahora en adelante, estrechamente unidas. [El laboratorio Curie], por la naturaleza del trabajo que realiza, que comporta el tratamiento de grandes cantidades de materias, debe disponer de medios de acción industriales, si no quiere verse imposibilitado para cumplir su tarea»³⁸.

Curie pensaba en un centro de características bien definidas: Un sitio en las afueras de París, con un taller para tratamientos químicos, hangares para el almacenamiento de minerales, y un pequeño laboratorio de medidas. El centro desarrollaría varias funciones: llevar a cabo los tratamientos semi-industriales requeridos por las investigaciones del Instituto de Radio; mejorar las técnicas de extracción del radio, a fin de explotar de forma más eficiente los distintos minerales y contribuir al descenso de precios; producir nuevos elementos radiactivos, especialmente los pertenecientes a la familia del torio; estudiar nuevas aplicaciones industriales del radio; y finalmente, proveer al instituto con 200 mg. de cloruro de radio al año³⁹.

Durante los años siguientes, Curie advocó sin cesar por la creación de un centro de estas características, como parte de su campaña por un centro integrado para el estudio de la radiactividad en Francia. En ningún lugar se ve esto más claramente que en las numerosas conferencias que Curie pronunció en los años veinte, un material revelador que ha sido en su mayor parte ignorado por historiadores y biógrafos. En ellas, Curie ofrece su visión de un centro nacional al servicio de la investigación, la educación, la terapia y la industria. Un componente esencial de este esquema sería un laboratorio preparado para tratar varios centenares de kilos de material radiactivo. En Madrid, en 1919, Curie contó a los asistentes a un congreso de medicina que «un laboratorio de física dotado con medios de acción industriales es indispensable para el desarrollo de la técnica de los radioelementos»⁴⁰. Curie solía justificar sus afirmaciones con un argumento histórico, recordando las precarias condiciones en que había tenido que descubrir el radio, y observando que nunca habría llegado a prepararlo de no contar con la ayuda de la industria. Este punto era invariablemente ilustrado con imágenes del llamado «hangar del descubrimiento», el cobertizo de la Escuela de Física y Química Industriales donde habían iniciado sus trabajos

los Curie. Curie hizo un uso tremendamente efectista de estas imágenes durante su *tour* americano, en 1921, con motivo de la donación de un gramo de radio por parte de las «mujeres de América». En su discurso de recepción de la medalla William Gibbs, en la American Chemical Society, Curie contó a su audiencia: «Voy a mostrarles ahora las imágenes de mi primer laboratorio, que era muy pobre y primitivo. Las condiciones de trabajo son mejores en mi nuevo laboratorio, y creo que mejorarán más aún después del interés que su país ha mostrado generosamente por mí» [I may show you now the pictures of my first laboratory which was very primitive and poor. The conditions of my work have already improved in my new laboratory, and I believe that they will be made more efficient by the interest which your country has so generously proved to me]. Curie describía la tarea de su laboratorio como «el estudio físico-químico de los radioelementos», destacando también que «para estudiar los radioelementos debemos fabricarlos». Ningún otro de los centros que lideraban el estudio de la radiactividad, con la posible excepción del Instituto de Radio de Viena, siguió esta política ⁴¹.

Mientras promovía la creación de su propio laboratorio industrial, Curie no dejó de cultivar sus contactos con los fabricantes de radio. Hasta la muerte de Armet de Lisle en 1928, la relación con su compañía siguió siendo privilegiada. Esta relación era abiertamente comercial pero claramente favorable para Curie, que pagaba por horas el uso de la mano de obra y las instalaciones de Armet, y seguía disponiendo de un taller-laboratorio en la fábrica ⁴². Curie trató sin embargo con otras muchas compañías, y no sólo francesas. Aprovechando contactos creados durante la guerra, Curie canalizó sus demandas a través del Comité militaire de Corps radio-actifs, que, en nombre de Curie, pidió a los productores franceses que prestaran ayuda material y logística al Instituto. En estas peticiones se habla libremente de un proyecto de «Institut National du Radium» ⁴³. En 1924, la *Société Anonyme de traitements chimiques*, perteneciente a los Rotschild, ofreció a Curie, a través de su antiguo colaborador A. Laborde, «los locales de nuestro laboratorio de purificación y fraccionamiento». Al año siguiente la empresa trató 200 kg. de uranato de sodio para Curie ⁴⁴. Otras

empresas de las que se conservan signos de cooperación en los archivos del instituto Curie incluyen *Minerais & Metaux*, la *Société Française d'Énergie et de Radio-Chimie*, y la *Société Minière Industrielle Franco-Bresilienne* ⁴⁵.

Mientras que la relación del laboratorio con estas compañías se reduce en su mayor parte al suministro de materias primas a un precio ventajoso, la relación de Curie con la *Union Minière du Haut-Katanga*, la compañía que explotó los ricos depósitos de mineral de uranio del Congo Belga y se hizo con el control del mercado internacional en 1923, es mucho más sustancial. Después de verificar las primeras muestras de radio producidas por la *Union Minière*, en 1924, entre sesión y sesión del cuarto Congreso Solvay, Curie negoció con el monopolio belga la producción de una serie de elementos radiactivos, especialmente los pertenecientes a la familia del actinio. Fiel a su política de amasamiento, Curie destacaba que era «extremadamente importante, desde un punto de vista científico, extraer estos elementos en cantidad suficiente». La compañía aportaría el mineral y los medios de extracción; Curie estudiaría los productos y pondría a punto las técnicas de extracción. El acuerdo entre Curie y la *Union Minière* prosperó hasta el inicio de los años treinta, cuando el hallazgo de nuevas vetas de mineral de uranio rico en radio en Canadá, condujo a una reestructuración del mercado internacional. A finales de 1932, Curie había llegado a un acuerdo con los productores canadienses que garantizaba el suministro de fuentes radiactivas ⁴⁶.

A pesar de sus esfuerzos por diversificar y consolidar sus apoyos industriales, el objetivo último de Curie siguió siendo la autosuficiencia. La necesidad de un laboratorio independiente se hizo más apremiante para Curie cuando la empresa de Armet cambió de manos, a su muerte en 1928. Los nuevos propietarios condicionaron el mantener su apoyo a las actividades científicas de Curie, al uso publicitario de su nombre, lo que provocó su indignación. Con la ayuda de G. Urbain, Curie llevó de nuevo su caso para la creación de un laboratorio industrial sin ánimo de lucro ante la Universidad de París y la Direction de l'Enseignement Superior ⁴⁷. Finalmente un «Laboratoire de gros traitements» fue construido en Arcueil, cerca de París, don-

de a partir de 1933 se llevaron a cabo tratamientos semi-industriales ⁴⁸.

5. La historiografía de la pureza

Para acabar me gustaría reflexionar brevemente sobre el significado de lo anterior para nuestra comprensión de la carrera de Curie y para la historiografía de la radiactividad. Paradójicamente, desde que le fuera concedido su primer premio Nobel en 1903, la estatura científica de Curie ha sido cuestión de debate; las apreciaciones de su obra no han dejado de oscilar entre la condescendencia y la hagiografía. Los detractores de Curie se han preguntado maliciosamente si tuvo ocasión, tras haber descubierto el radio, «de usar su cabeza o sólo sus manos» ⁴⁹. Por su parte, la mayoría de biógrafos ha sacado el máximo partido de sus dos premios Nobel, pero no ha podido evitar medir los logros de Curie según el estándar de Rutherford, sin cuestionar la peculiar manera de hacer radiactividad del físico británico. A mi entender esta esquizofrenia historiográfica se debe, en gran parte, a que se ha obviado un elemento sustancial de la actividad de Curie.

Parte de la culpa cabe achacarla a la propia Curie, que devino gustosamente el prototipo de investigador puro, entregado a la ciencia. El laboratorio es el escenario privilegiado de la abundante imaginería de Curie. La mayoría de retratos la muestran sola, a lo sumo en compañía de algún colaborador, vestida con sencillez y rodeada de instrumentos más propios del siglo XIX que del XX: balanzas, probetas, electrómetros... Según uno de sus colaboradores, «el laboratorio era para Curie un espacio único de trabajo y meditación, aislado del mundo»; otro de ellos comparó la atmósfera de su laboratorio a la de un convento ⁵⁰. La persistente actividad industrial de Curie contradice esta imagen heroica que, sin embargo, Curie propagó a conciencia. Su biografía de Pierre Curie, aparecida en 1923, contiene la vívida descripción del laboratorio original de la Escuela de Física y Química Industriales, que ha sido acriticamente adoptada por historiadores y biógrafos. Las referencias de Curie a la escasez de recursos, la falta de asistentes, la

patética condición del cobertizo donde trabajaban, la dureza del trabajo (todo ello en un capítulo titulado «La lucha por el equipamiento»), aunque sin duda basadas en vivencias reales, tienen forzosamente que haber adquirido un nuevo significado para ella con el paso del tiempo. Su exaltación de la entrega a la investigación y de «la atmósfera de paz y meditación que es la verdadera atmósfera de un laboratorio» se avienen mal con su campaña por dotar al Instituto de Radio con un laboratorio industrial, o sus tratos con buen número de productores de radio ⁵¹. Es razonable pensar que la situación en que se encontraba a principios de los años veinte, con un nuevo instituto al que dotar con medios de investigación y un suministro estable de fuentes radiactivas, afectara la manera en que presentó los años de descubrimiento ⁵².

Por otro lado, Curie tenía sus razones para no airear sus conexiones industriales, tan buenas como las que llevan hoy a tantos investigadores a magnificar las suyas. Los contemporáneos de Curie otorgaban a la ciencia un valor moral y humano del que carecía, por lo general, la industria. La biografía de Curie por su hija Éve, publicada en 1937 a los tres años de su muerte, rebosa de esos valores. En una reseña del libro se describe la decisión de los Curie de no patentar el procedimiento de extracción del radio como «la expresión inevitable de su carácter», una decisión que «confiere a sus vidas una profundidad que nunca alcanzará una carrera comercial como la de Edison». Lo que Heilbron y Seidel han descrito como la «prevención del científico académico ante la obtención de un interés personal a través de sus descubrimientos o invenciones» era muy poderosa entre los *savants*, y siguió siéndolo durante los años treinta «a pesar de la creciente integración de la ciencia académica y el desarrollo industrial» ⁵³.

Los científicos franceses del período de entreguerras ensalzaron de manera casi rutinaria la investigación desinteresada («*désintéressée*»), sinónimo de ciencia pura, en un momento en que se debatía intensamente en Francia la relación entre ciencia y Estado. Curie participaba de este sentir al considerar a los científicos como buscadores desinteresados de la verdad, cuyo trabajo beneficiaba a la humanidad en formas difíciles de prever. El dinero no debiera

constituir una preocupación para estos ciudadanos en una sociedad bien organizada, que se ocuparía de equiparlos y mantenerlos. Entretanto, Curie podía recabar fondos y asegurarse la colaboración de la industria, sin traicionar el espíritu de pureza y desinterés prevalente en la comunidad científica francesa ⁵⁴. Espíritu que sobrevivió a la Segunda Guerra Mundial: El director del Centre National de la Recherche Scientifique señalaba en 1946 que «el sentido que se da normalmente a los términos “investigación pura” e “investigación aplicada” representa mas bien la oposición entre la investigación desinteresada y aquella que no lo es ⁵⁵. Hasta los científicos de izquierdas que promovieron lo que T. Shinn ha llamado acertadamente el «sistema de ciencia autónoma», hegemónico en Francia desde el final de la Segunda Guerra Mundial hasta los ochenta, no dejaron de considerar su abierta relación con la industria como «problemática y un tanto deshonrosa» ⁵⁶.

La persistencia del ideal de una ciencia pura ha contribuido pues a oscurecer la vertiente práctica, aplicada e industrial de la carrera de Curie. Tampoco contribuyó demasiado a su recuperación el que la historia de la ciencia, al consolidarse como disciplina académica en las universidades americanas e inglesas después de la Segunda Guerra Mundial, centrara su atención en las innovaciones conceptuales y teóricas. A la preservación de la imagen heroica de Curie ha contribuido así el que se asumiera la distinción entre ciencia pura y aplicada, sin analizar su formación histórica. Todo intento de valorar la figura de Curie en términos de la dicotomía entre ciencia pura y aplicada debiera tener en cuenta que esta relación estaba siendo definida en Francia durante el período de entreguerras ⁵⁷. La trayectoria de Curie elude toda caracterización nítida, tanto de científica aplicada o industrial como de científica pura. Mientras que la última ha prevalecido, ambas traicionan la peculiar visión plural de la radiactividad propugnada por Curie.

Notas

* Centre d'Estudis d'Història de les Ciències, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra. Este artículo procede de una conferencia

pronunciada en Madrid dentro del curso «La era atómica», organizado por la Universidad Autónoma de Madrid en diciembre de 1995. Agradezco a J. M. Sánchez Ron la invitación para participar en el curso. He usado las abreviaciones siguientes: AC, Archivo M. Curie, Institut Curie, París; CBN, colección Pierre y Marie Curie, Biblioteca Nacional, París; OMC, I. Joliot-Curie ed. *Oeuvres de Marie Skłodowska Curie* (Varsovia, 1954); ER, E. Rutherford Papers, Cambridge University Library, Add MS 7653. Agradezco el permiso para citar material de archivo a Hélène Langevin y la Cambridge University Library. Este trabajo ha sido financiado parcialmente por la DGICYT, programa PS92-0048.

¹ Véase GALISON, P. y HEVLY, B. eds.: *Big Science. The Growth of Large-Scale Research* (Stanford University Press, Stanford, 1992), que incluye una selección bibliográfica; SÁNCHEZ RON, J. M.: *El poder de la ciencia. Historia socio-económica de la física (siglo XX)* (Alianza, Madrid, 1992); TRACKRAY, A. ed.: *Science After '40*, número especial de *Osiris* 7 (1992). Algunas de las instituciones más representativas de la *gran ciencia* disponen de estudios monográficos; véase especialmente HEILBRON, J. L. y SEIDEL, R. W.: *Lawrence and His Laboratory. A History of the Lawrence Berkeley Laboratory*, vol. 1 (University of California Press, Berkeley, 1990); HERMANN, A.; KRIGE, J.; MERSITS, U. y PESTRE, D.: *History of CERN*, vol. 1, *Launching the European Organization for Nuclear Research* (North-Holland, Amsterdam, 1987), vol. 2, *Building and Running the Laboratory, 1954-1965* (North-Holland, Amsterdam, 1990).

² Entre las excepciones más destacables se hallan FORMAN, P.: «Weimar Culture, Causality, and Quantum Theory, 1918-1927: Adaptation by German Physicists and Mathematicians to a Hostile Intellectual Environment», *Historical Studies in the Physical Sciences* 3 (1971), 1-115 (hay edición castellana de SÁNCHEZ RON, J. M.: *Cultura en Weimar, causalidad y teoría cuántica, 1918-1927* (Alianza, Madrid, 1984). HEILBRON y SEIDEL: *Lawrence and his laboratory*.

³ WISE, N. ed.: *The Values of Precision* (Princeton Univ. Press, Princeton, 1995); SCHAFFER, S.: «Late Victorian Metrology and Its Instrumentation: A Manufactory of Ohms», en BUDD, R. y COZZENS, S. E. eds.: *Invisible Connections: Instruments, Institutions, and Science* (SPIE Optical Engineering Press, Londres, 1991), pp. 23-56; LATOUR, B.: *Science in Action. How to Follow Scientists and Engineers Through Society* (Open Univ. Press, Milton Keynes, 1987), pp. 247-257 (hay traducción castellana, *Ciencia en acción*. Labor, Barcelona, 1992).

⁴ SMITH, C. y WISE, N.: *Energy and Empire. A Biographical Study of Lord Kelvin* (Cambridge Univ. Press, 1989), p. xx. Los biógrafos de Curie han ignorado la componente industrial de su carrera. El término «industria», por ejemplo, aparece dos veces en el índice de QUINN, S.: *Marie Curie. A Life* (Heinemann, Londres, 1995), y sólo en relación con el origen polaco de Curie. Véase también CURIE, E.: *Madame Curie* (Gallimard, París, 1938); REID, R.: *Marie Curie* (Collins, Londres, 1974); PFLAUM, R.: *Grand Obsession. Madame Curie and her World* (Doubleday, Nueva York, 1989).

⁵ Marie a Joseph Sklodovski, s. f., citada en CURIE: *Madame Curie*, p. 226. Véase REID: *Marie Curie*, cap. 8, y ROQUÉ, X.: «La stratégie de l'isolement», *Cahiers de Science & Vie*, n.º 24 (1994), pp. 46-67.

⁶ Marie a J. Sklodovski, 23-12-1903, citada en CURIE: *Madame Curie*, p. 226.

⁷ HUGHES, J. A.: «The Radium Wars: Physics, Chemistry and the "Political Economy" of Radioactivity, 1898-1914», artículo inédito.

⁸ GIESEL, F. a CURIE, P. y M., 12-1-1900 (CP, NAF. 18434); BOLTWOOD, B. B. a RUTHERFORD, E. 8-8-1904, en BADASH, L. ed.: *Rutherford and Boltwood. Letters on Radioactivity* (Yale Univ. Press, New Haven y Londres, 1969), p. 36. En 1904, el único productor francés vendía bromuro de radio a 400 francos el mg. Giesel, que producía la sal en la empresa donde trabajaba (Chininfabrik Braunschweig, Buchler & Co.), la estaba distribuyendo entre sus colegas por un precio nominal de 40 francos el mg. Giesel produjo un total de 15 mg. hasta 1906, cuando abandonó la producción (P. Forman, J. L. Heilbron, y S. Weart, «Physics Circa 1900. Personnel, Funding, and Productivity of the Academic Establishments», *Historical Studies in the Physical Sciences* 5 (1975), pp. 1-185, p. 89; *Le Radium* 1, 1904, cubiertas; HENRICH, F.: *Chemie und chemische Technologie radioaktiver Stoffe*, (Springer, Berlin, 1918, p. 344).

⁹ Rutherford a Boltwood, 20-10-1907; «dosis homeopáticas», Boltwood a Rutherford, 11-10-1908, en BADASH, *Rutherford and Boltwood*, pp. 170 y 193.

¹⁰ REID, *Marie Curie*, y PFLAUM, *Grand Obsession*. El tema de la obsesión en la literatura sobre Curie se remonta, por lo menos, al artículo de Irène Curie «Marie Curie, ma mère», *Europe* 32 (1954), pp. 89-121.

¹¹ HUGHES, «Radium wars». Para un análisis incisivo del desarrollo conceptual y social de la radiactividad en el período de entreguerras, véase del mismo autor *The Radioactivists: Community, Controversy and the Rise of Nuclear Physics*, tesis doctoral, Universidad de Cambridge, 1993.

¹² BOUDIA, S. presentación en el coloquio internacional «Les laboratoires Curie et Joliot-Curie: Recherche, industrie, médecine et politique». Cité des Sciences et l'Industrie, París, 21-6-1996. Sobre la metrología de la radiactividad, véase además HESSENBRUCH, A.: «The Strong Arm of the Law: Radioactivity, Work, and Money», artículo inédito.

¹³ FREEDMAN, Michael I.: «Frederick Soddy and the Practical Significance of Radioactive Matter», *British Journal for the History of Science* 12 (1979), pp. 257-260; HAHN, O.: *Vom Radiothor zur Uranspaltung. Eine wissenschaftliche Selbstbiographie* (Vieweg, Braunschweig, 1962), pp. 37-44; «Einige persönliche Erinnerungen aus der Geschichte der natürlichen Radioaktivität», *Naturwissenschaften* 35 (1948), pp. 67-74. Lo que distingue a Curie de estos investigadores es la consistencia y eficacia con la que cultivó sus contactos industriales a lo largo de su carrera.

¹⁴ Sobre la industria del radio, véase BADASH, *Radioactivity in America*, cap. 10; LANDA, E. R.: «The First Nuclear Industry», *Scientific American* 247 (1981), pp. 154-163; WEART, S.: *Scientists in Power* (Harvard

Univ. Press, Cambridge, MA, 1979), p. 306, n. 26; VANDERLINDEN, J.: «Marie Curie et le radium "belge"», en Univ. Libre de Bruxelles ed., *Marie Curie et la Belgique*, pp. 91-109. Puede consultarse también BISHOP, H. E.: «The Present Situation in the Radium Industry», *Science* 57 (1923), pp. 341-345; HENRICH, *Chemie radioaktiver Stoffe*; y CURIE, Maurice: *Le Radium et les Radio-éléments*, esp. chap. 4 (Baillièere, Paris, 1925).

¹⁵ E. Haudepin a M. Curie, 3-2-1922 (AC, 3146); cf. E. Suess to P. Curie, 13-6-1899 (CP, NAF. 18434), y HURWIC, A: *Pierre Curie* (Flammarion, Paris, 1995), p. 132.

¹⁶ HURWIC, *Pierre Curie*, pp. 124, 198, 220; P. Curie a G. Gouy, 13-11-1902: «Nous faisons traiter des tonnes de résidus avec les 20.000 francs de l'Institut [Académie de Sciences]», *ibid.*, p. 189. Sobre la financiación de la investigación en Francia a través del sistema de premios de la Academia, ver CRAWFORD, E.: «The Prize System of the Academy of Sciences», en FOX, R. y WEISZ, G. eds.: *The Organization of Science and Technology in France, 1808-1914* (Cambridge Univ. Press, 1980), pp. 283-307.

¹⁷ CURIE, P. y M.: «Les nouvelles substances radioactives et les rayons qu'elles émettent», in *Rapports présentés au Congrès international de Physique*, vol. 3 (Paris, 1900), p. 79 (OMC, pp. 106-133, on p. 114).

¹⁸ HAMMER, W. J.: «Radium, Polonium, and Actinium», *The Chemical News*, 87 (1903), pp. 25-27, p. 27. Hammer relató también su visita a los Curie en *Radium, and other radio-active substances; polonium, actinium, and thorium* (van Nostrand/Low, Marston & Company, Nueva York/Londres, 1903), p. 20: «The laboratory [of the Société Centrale des Produits Chimiques] where [radium and polonium are] prepared, is under the control of Prof. Curie; and up to recent date, all radium of higher radio-activity than 7,000 has been retained for the experiments of M. and Mme. Curie and their associates».

¹⁹ M. Curie a J. Sklodowski, 23-11-1895, citado en CURIE, E.: *Marie Curie*, p. 206. CURIE, M.: «Propriétés magnétiques des aciers trempés», *Bulletin de la Société d'Encouragement à l'Industrie Nationale* 1898 (OMC, pp. 3-42).

²⁰ SHINN, T.: «Genesis of French Industrial Research», *Social Science Information* 19 (1980), pp. 607-640. Sobre la relación entre ciencia e industria en Francia véase asimismo SHINN, T.: «How French Universities Became What They Are», *Minerva* 23 (1985), pp. 159-165, esp. p. 164; PAUL, H. W.: *From Knowledge to Power: The Rise of the Science Empire in France, 1860-1939* (Cambridge Univ. Press, 1985), cap. 4; FOX y WEISZ eds.: *The Organization of Science and Technology in France* (Cambridge University Press, 1980); NYE, M. J.: *Science in the Provinces. Scientific Communities and Provincial Leadership in France, 1860-1930* (Univ. of California Press, Berkeley, 1986); PESTRE, D.: *Physique et Physiciens en France 1918-1940* (Archives Contemporaines, Paris, 1984); SHINN, T.: «Science, Tocqueville, and the State: The Organization of Knowledge in Modern France», en JACOB, M. C. ed.: *The Politics of Western Science, 1640-1990* (Humanities Press, New Jersey, 1994), pp. 47-80, y «Failure or Success? Interpretations of 20th Century French Physics», *Historical Studies in the Physical Sciences* 16 (1986), pp. 353-369.

²¹ E. Armet de Lisle (1853-1928) estudió química en la Facultad de Ciencias en París y heredó la Société du Traitement des Quinquinas en 1878 (M. Curie, borrador de la nota necrológica de E. Armet de Lisle, 1929, CP, NAF. 18435; PELÉ, J.: «L'usine Armet de Lisle à Nogent», *Bulletin de la Société Historique et Archéologique de Nogent-sur-Marne* (1990), pp. 66-75).

²² M. Curie, borrador sobre E. Armet de Lisle, 1929 (CP, NAF. 18435); Armet de Lisle a M. Curie, 21-9-1908, sobre la voluntad de Curie «de tener un laboratorio de investigación en la fábrica» (CP, NAF. 18443). Las cartas de Curie a Armet no parecen haber sido preservadas.

²³ CURIE, Marie: «Exposé relatif au radium qui se trouve actuellement dans mon laboratoire et dispositions correspondantes», 3-3-1912 (CP, NAF. 18436, pp. 17-25).

²⁴ «Notice sur la General Radium Production Company (Armet de Lisle's Radium Works) Limited», (CP, NAF. 18436, pp. 197-205). Uno de los estudiantes que trabajaban con Curie, HERSCHFINKEL, H., intentó sin éxito producir radio metálico a partir del método de Ebler («Essais de préparation du radium métallique», *Le Radium* 8 (1911), pp. 299-301). Sobre los trabajos del laboratorio Curie hasta la Primera Guerra Mundial, puede verse DAVIS, J. L.: «The Research School of Marie Curie In The Paris Faculty, 1907-1914», *Annals of Science* 52 (1995), pp. 321-355.

²⁵ GOLDSCHMIDT, B.: *Pionniers de l'atome* (Stock, Paris, 1987), p. 14.

²⁶ CURIE, M. y REGAUD, C.: «Rapport et propositions concernant l'extension des services de l'Institut du Radium», [1918] (CP, NAF. 18436, pp. 43-88); p. 2, «Enseignements».

²⁷ DAVIS, «The Research School of Marie Curie», p. 326.

²⁸ CURIE, M. a DANNE, J. 18-6-1909 (CP, NAF. 18435).

²⁹ Ver a este respecto LENOIR, T.: «Practical Reason and the Construction of Scientific Knowledge: The Lifeworld of Haber-Bosch», in McMULLIN, E. ed. *The Social Dimensions of Science* (Notre Dame, IN, 1992), pp. 158-197.

³⁰ SZILARD, B.: «Un étude sur le radio-plomb», *Le Radium* 5 (1908), pp. 299-301; HERSCHFINKEL, H.: «Sur le radio-plomb», *Le Radium* 7 (1910), pp. 198-200.

³¹ SZILARD, B.: «Tables des principaux minerais d'uranium et de thorium», *Le Radium* 6 (1909), pp. 233-240; KOLOWRAT, L.: «Tables des substances radioactives. Revues et complétées», *Le Radium* 7 (1910), pp. 1-3; KOLOWRAT, L.: «Tables des constantes radioactives», *Le Radium* 10 (1913), pp. 1-4.

³² CHÉNEVEAU, C. y LABORDE, A.: «Appareils pour la mesure de la radioactivité, d'après la méthode électroscopique», *Journal de Physique* 8 (1909), pp. 161-174; «L'électromètre à quadrants», *Le Radium* 4 (1907), pp. 145-154; LATTES, C.: «Méthode de mesure des faibles courants», *Le Radium* 6 (1909), pp. 73-74; CURIE, M.: «Électromètre à fil de quartz», *Le Radium* 3 (1906), pp. 202-203.

³³ SZILARD, B.: «Sur un appareil destiné à la mesure de la radioactivité», *Le Radium* 6 (1909), pp. 363-366; ARMET DE LISLE, E.: «Nouvel

électroscope pour la recherche des minéraux radioactifs», *Le Radium* 2 (1905), 217-8; «Électroscope pour la recherche des minéraux radioactifs», *Le Radium* 3 (1906), p. 62. La prospección siguió centrando la atención del laboratorio Curie después de la muerte de Curie en 1934: I. JO-LIOT-CURIE dirigió, después de la Segunda Guerra Mundial, la división de materias primas y prospección del Commissariat de l'Energie Atomique (ORCEL, J.: «Quelques souvenirs des Curie», in SCHNABEL, H.-J. ed.: *Histoire naturelle de la radioactivité*, Muséum National d'Historie Naturelle, Paris, 1996, pp. 40-41). La división se ocupaba de la formación de prospectores, que eran luego «enviados a la caza de uranio por toda Francia y los territorios franceses de ultramar» (Weart, *Scientists in Power*, p. 224).

³⁴ RUTHERFORD, *Radioactive Substances and Their Radiations* (Cambridge Univ. Press, 1913), p. 16.

³⁵ M. Curie, borrador sobre E. Armet de Lisle, 1929 (CP, NAF. 18435). Véase también DESPY-MEYER, A.: «Marie Curie et la Belgique. Résultat d'un premier dépistage des sources», en Université Libre de Bruxelles ed., *Marie Sklodowska Curie et la Belgique* (Univ. Libre Bruxelles, Brussels, 1990), pp. 11-23.

³⁶ CURIE, M.: «Note relative au radium qui se trouve actuellement au laboratoire Curie de l'Institut du Radium», 1-12-1918 (CP, NAF. 18436, pp. 24-25).

³⁷ CURIE, M.: «Rapport sur l'extension souhaitable des services de l'Institut du Radium», 1919 (CP, NAF. 18436, pp. 101-127). Sobre el internacionalismo en ciencia después de la Primera Guerra Mundial, ver CRAWFORD, E.: «Internationalism in Science as a Casualty of World War I», en *Nationalism and Internationalism in Science 1880-1939* (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1992), pp. 49-78.

³⁸ CURIE, M. y REGAUD, C.: «Rapport et propositions concernant l'extension des services de l'Institut du Radium», [1918] (CP, NAF. 18436, pp. 43-88, p. 8: «La création d'un laboratoire industriel est, d'une manière générale, conforme aux tendances actuelles d'après lesquelles la Science et l'application doivent marcher dorénavant étroitement unies. [Le laboratoire Curie], par la nature même de ses travaux comportant le traitement de grandes quantités de matières, doit disposer de moyens d'action industriels, sous peine d'être mis dans l'impossibilité de remplir sa tâche».

³⁹ *Ibid.* p. 10.

⁴⁰ CURIE, M.: «Les radiations des radioéléments et la technique de leur emploi», Madrid, 22-4-1919 (CP, NAF. 18394, pp. 16-64; en p. 39).

⁴¹ «Primer laboratorio», CP, NAF. 18394, p. 189; «Conférence sur l'Institut du Radium à l'Université des Annales, 23-2-1925», CP, NAF. 18394, pp. 277-299, en p. 281. Sobre el Instituto de Radio de Viena, véase KARLIK, B. y SCHMID, E.: *Franz S. Exner und sein Kreis. Ein Beitrag zur Geschichte der Physik in Österreich* (Akademie der Wissenschaften, Vienna, 1982), pp. 88-95; y los artículos recogidos en «Festschrift des Institutes für Radiumforschung anlässlich seines 40jährigen Bestandes (1910-1950)», *Sitzungsberichte d. mathem.-naturw. Kl., Abt. IIa* 159 (1950),

pp. 1-57. S. Meyer y E. v. Schweidler, miembros destacados del Instituto de Radio de Viena, supervisaron la producción de radio en la compañía Auer de Atzgersdorf (1905). Como el laboratorio de Curie, el instituto estaba muy interesado por las técnicas de producción de sustancias radiactivas y la metrología de la radiactividad.

⁴² En 1925 Armet empleó a P. Kerromés, un ingeniero, con un tercio de su salario a cargo de Curie. En 1926 otro técnico, S. Chevrine, fue contratado a cargo de Curie (correspondencia con la compañía «Sels de Radium», 1920-1929, AC).

⁴³ M. Curie a A. Bénédic, 5-5-1920, Bénédic a Curie, 19-5-1920 (AC, 3228 y 3230).

⁴⁴ AC, 3139; anotaciones de Curie sobre una visita a la fábrica, 29-4-1925, AC, 3142; informe sobre el tratamiento, s. f. AC, 3136.

⁴⁵ AC, «Correspondance avec les sociétés industrielles de radium».

⁴⁶ VANDERLINDEN: «Marie Curie et le radium "belge"», pp. 100 y 105. La Unión Minera buscó la asistencia de otros centros de estudios de la radiactividad, especialmente el de Viena (MEYER, S. a RUTHERFORD, E. 31-8-1923, RP: «I am acquainted with the [Belgians's] material, as the treatment of the Katanga-Kongo-ores has been worked out in our institute two years ago»).

⁴⁷ Curie al Director de la Enseñanza Superior, 22-4-1929; Curie al decano de la Universidad de París, 31-5-1929; Urbain al decano de la Universidad de París, 28-5-1929 (CP, NAF. 18443).

⁴⁸ CURIE: «Rapport sur l'activité du laboratoire de gros traitements d'Arcueil», 25-6-1934 (CP, NAF. 18436). Curie se refiere a un «laboratorio industrial creado recientemente como anexo a mi laboratorio por la Universidad de París» en una carta a SENGIER, E. de *Union Minière*, 4-10-1932 (AC, 3739; citado por Vanderlinden, «Curie et le radium "belge"», p. 104). Ver WEART, *Scientists in Power*, p. 114, sobre la utilidad del laboratorio de Arcueil para los Joliot-Curie.

⁴⁹ Véase la recensión de Badash de la biografía de Reid, «Decay of a Radioactive Halo», *Isis* 66 (1975), pp. 566-568.

⁵⁰ GUILLOT, M.: «Marie Curie-Sklodowska (1867-1934)», *Nuclear Physics A* 103 (1967), pp. 1-8, pp. 1 y 2; CURIE, M.: *Pierre Curie* (Macmillan, Nueva York, 1923), p. 67. Sobre el aura monástica del antecedente más notorio del Instituto de Radio, el Instituto Pasteur, véase WEINDLING, P.: «Scientific Elites and Laboratory Organisation in *Fin de Siècle* Paris and Berlin. The Pasteur Institute and Robert Koch's Institute for Infectious Diseases Compared», en CUNNINGHAM, A. y WILLIAMS, P. eds.: *The Laboratory Revolution in Medicine* (Cambridge Univ. Press, 1992), pp. 170-188.

⁵¹ CURIE, Marie: *Pierre Curie* (Macmillan, Nueva York, 1923), 146; CURIE, Eve: *Madame Curie*, p. 179, citando a Marie Curie.

⁵² Sobre el mito Curie, ver BENSUADE-VINCENT, B.: «Une robe de coton noir», *Cahiers de Science & Vie* n.º 24, 1994: 76-85; y GUBIN, É.: «Marie Curie et le radium: l'information et le légende en Belgique», in Univ. Libre Bruxelles, *Curie et la Belgique*, pp. 111-129.

⁵³ HEILBRON y SEIDEL: *Lawrence and His Laboratory*, pp. 111-112; HEILBRON: «Fin-de-siècle physics», p. 67.

⁵⁴ CURIE, E.: *Madame Curie*, p. 459; CURIE, M.: «Discours de Mme. Pierre Curie», en *Le Radium. Célébration du vingt-cinquième anniversaire de sa découverte (1898-1923)*, (Presses Univ. de France, Paris, 1924), p. 46; CURIE, M.: «The American gift», *The New York Herald Tribune*, 27-11-1927.

⁵⁵ TEISSIER, G.: «Une politique française pour la science», conferencia pronunciada en 1946, citado en PICARD, J.-F.: *La république des savants. La recherche française et le CNRS* (Flammarion, Paris, 1991), p. 27.

⁵⁶ SHINN, T.: «Science, Tocqueville, and the State», p. 76.

⁵⁷ WEART, *Scientists in Power*, cap. 2; SHINN, «Failure or Success».