

Física nuclear, energía nuclear y conocimiento de doble uso

Juan Seguro

Pregunta central

¿Cómo convirtió la física nuclear procesos atómicos medibles experimentalmente en una tecnología energética cuyo poder científico no podía separarse de consecuencias militares, políticas y éticas?

Contexto histórico y evolutivo

La radiactividad, el electrón y el átomo nuclear ya habían hecho experimentalmente penetrable la materia a comienzos del siglo XX. La mecánica cuántica proporcionó un nuevo lenguaje microscópico, y los experimentos de Enrico Fermi con bombardeo de neutrones desde 1934 abrieron acceso a transformaciones nucleares. A finales de 1938 Otto Hahn y Fritz Strassmann obtuvieron evidencia química de bario entre productos de uranio bombardeado con neutrones. A comienzos de 1939 Lise Meitner y Otto Frisch interpretaron el resultado como fisión nuclear y estimaron la gran liberación de energía; Frisch informó después de evidencia física directa. El 2 de diciembre de 1942, Chicago Pile-1 de Fermi alcanzó la primera reacción nuclear en cadena autosostenida y controlada. En julio de 1945, el Proyecto Manhattan había producido la explosión nuclear Trinity. Hiroshima y Nagasaki en agosto de 1945 hicieron imposible ignorar el carácter de doble uso del conocimiento nuclear.

¿Qué podían saber las comunidades antes de esta transición?

En la década de 1930 los físicos podían medir desintegración radiactiva, carga nuclear e interacciones de partículas. PIO-075 había establecido el átomo como sistema interno medible, mientras PIO-080 aportaba la mecánica cuántica. La limitación era que la transformación nuclear seguía siendo principalmente un fenómeno experimental y no una fuente macroscópica de energía controlable.

¿Qué cambió?

La fisión conectó estructura nuclear con un presupuesto macroscópico de energía

La interpretación de Meitner y Frisch de 1939 conectó la división del núcleo con conversión masa-energía y una liberación de aproximadamente cientos de megaelectronvoltios por evento. Las mediciones de ionización de Frisch aportaron evidencia física de fragmentos de fisión energéticos. El cambio nuclear podía entenderse ahora como fuente de energía y no solo como firma de desintegración.

Las reacciones en cadena convirtieron la escala en un problema de sistemas

La posibilidad de que los neutrones emitidos indujeran nuevas fisiones convirtió una reacción microscópica en un proceso ramificado. El diseño de reactores exigía economía de neutrones, pureza de materiales, geometría, moderación y evacuación de calor. La física nuclear se volvió inseparable de ingeniería a gran escala y organización estatal.

La publicación científica quedó entrelazada con secreto y control estratégico

El Proyecto Manhattan mostró que la producción de conocimiento podía compartimentarse deliberadamente. El Smyth Report de 1945 fue a la vez un relato del desarrollo científico y una frontera sobre lo que podía divulgarse. El Franck Report de junio de 1945 mostró que los propios científicos discutían las consecuencias políticas antes del uso en guerra.

¿Por qué pudo surgir esta capacidad?

La transición dependió de física cuántica y nuclear, detección de partículas, química isotópica, grandes plantas industriales, ingeniería de precisión, financiación gubernamental y movilización bélica. Se apoyó además en migración científica transnacional, incluidos investigadores desplazados por fascismo y guerra.

¿Qué formas posteriores de conocimiento hizo posibles?

La física nuclear permitió reactores, trazadores isotópicos, métodos radiométricos, medicina nuclear, física de partículas y nuevos modelos astrofísicos. Institucionalizó además la investigación sobre protección radiológica, control de armamentos, salvaguardias y evaluación tecnológica.

Nuevos límites y riesgos

El conocimiento nuclear puede servir a energía, medicina y medición al mismo tiempo que permite armas, proliferación y residuos de larga duración. Fallos de baja probabilidad pueden tener consecuencias grandes, y los efectos de la radiación pueden extenderse entre generaciones y fronteras. La responsabilidad de doble uso no puede tratarse, por tanto, como apéndice ético opcional de la ciencia.

¿Qué cambió en la arquitectura del conocimiento?

La capacidad científica se convirtió en un **sistema de intervención a escala estatal con consecuencias estratégicas irreversibles**. La cadena epistémica pasó de teoría subatómica a ingeniería industrial y de ahí a gobernanza, secreto y riesgo internacional.

Pérdida, exclusión e incertidumbre

Los relatos que comienzan con un único «descubrimiento de la fisión» ocultan el trabajo químico de Hahn y Strassmann, la interpretación teórica de Meitner y Frisch, el papel de la física de neutrones anterior y el enorme trabajo del Proyecto Manhattan. También pueden infravalorar las consecuencias humanas de la minería de uranio, la producción de armas y los propios bombardeos. La explicación histórica debe distinguir descubrimiento, interpretación, ingeniería y decisión política.

Mapa de dependencias

- INDIRECTO ← PIO-063 Termodinámica y contabilidad de la energía
- DIRECTO ← PIO-075 Rayos X, radiactividad y el átomo medible
- INDIRECTO ← PIO-076 Einstein y el espacio-tiempo
- INDIRECTO ← PIO-079 Noether, simetría y conservación
- DIRECTO ← PIO-080 Mecánica cuántica y los límites de la descripción clásica
- PARALELO → PIO-086 Ética de la investigación, consentimiento y límites de la investigación permisible

Referencias

1. Meitner, L. & Frisch, O. R. «Disintegration of Uranium by Neutrons: a New Type of Nuclear Reaction.» *Nature* 143, 239-240 (1939). DOI: 10.1038/143239a0.
2. Frisch, O. R. «Physical Evidence for the Division of Heavy Nuclei under Neutron Bombardment.» *Nature* 143, 276 (1939). DOI: 10.1038/143276a0.
3. Smyth, H. D. «Atomic Energy for Military Purposes.» *Reviews of Modern Physics* 17(4), 351-471 (1945). DOI: 10.1103/RevModPhys.17.351.
4. Hahn, O. & Strassmann, F. «Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle.» *Die Naturwissenschaften* 27, 11-15 (1939).
5. Franck, J. et al. *Report of the Committee on Political and Social Problems (Franck Report)*. Metallurgical Laboratory, University of Chicago (11 June 1945).