



Consecuencias naturales de la ciencia a gran escala: la colaboración y la discusión abierta como la base del avance científico y tecnológico



Mario Ulices Delgado-Jaime. Departamento de Química. Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara alejandra.mezarios@academicos.udg.mx ORCID 0000-0003-4680-2001

Licenciado en Ingeniería Química por la Universidad de Guadalajara y doctorado en Físicoquímica Inorgánica por la Universidad de la Columbia Británica (UBC), con 20 años de experiencia en técnicas espectroscópicas de rayos X basadas en sincrotrón.

Reflexión rápida

¿Qué tipo de proyectos de ciencia a gran escala deberían ser financiados por los gobiernos en el mundo y cuales deberían abandonarse?
¿Competencia o colaboración?, ¿Cuál postura aporta más al avance científico?

Cite este artículo así:

APA: Delgado-Jaime. (2024). Consecuencias naturales de la ciencia a gran escala: la colaboración y la discusión abierta como la base del avance científico y tecnológico. *Quimiofilia*, 2022, 3,(2), 26-29

MDPI y JACS: Delgado-Jaime, M. *Quimiofilia*, 2024, 3, 2, 26-29
DOI: <https://doi.org/10.56604/qfla2024322629>

Recibido: 13 de mayo 2024. **Aceptado:** 13 de noviembre 2024. **Publicado.** 28 de noviembre de 2024.

www.quimiofilia.com. ISSN: 2683-2364. Registro IMPI: 2052060 QUIMIOFILIA. Reserva de derechos al uso exclusivo 2022: 04-2019-062013201300-203



La ciencia a gran escala, también conocida como megaciencia, o del inglés, como “big science”, consiste en la financiación de proyectos científicos que implican el uso de recursos públicos de uno o varios gobiernos y que muy a menudo involucran el desarrollo de infraestructura científica muy costosa que difícilmente una sola organización o un solo individuo podría costear. Y aunque fue la segunda guerra mundial lo que marcó el inicio de la ciencia a gran escala con el proyecto Manhattan con el fin de contrarrestar los propios megaproyectos de Alemania y Japón, la gran mayoría de momentos y aplicaciones que se le han dado a la ciencia de gran escala son de carácter más noble, como el proyecto del genoma humano en los años 90; o como el financiamiento a los grandes laboratorios de luz sincrotrón que tienen impacto en múltiples disciplinas científicas.



Figura 1. Entrada al láser de rayos X originado a partir de electrones libres (xFEL) en el laboratorio nacional SLAC de la universidad de Stanford (LCLS).

A medio camino entre el sur de San Francisco y San José, California, a un lado de la carretera escénica 280, se asienta el laboratorio nacional SLAC de la universidad de Stanford. Un complejo científico que alberga entre otros el laboratorio de luz sincrotrón SSRL y al primer laboratorio de láser de rayos X originado a partir de electrones libres (xFEL) del mundo (LCLS), que ahora, en su segunda versión, contempla un acelerador lineal de 4 km de longitud y una pistola de electrones capaz de generar 1 millón de pulsos de electrones por segundo,^{1,2} lo que permite, además de la

caracterización de materiales, medir los procesos más rápidos efectuados por la naturaleza, con resolución en el tiempo de unos pocos femtosegundos, como los procesos implicados en la producción de energía química a partir de energía solar (fotosíntesis).³

Siendo uno de los centros de innovación científica más significativos del mundo, no es accidente que sobre la misma calle donde se encuentra la entrada a SLAC (en Sand Hill road), se encuentra también el conglomerado más importante de firmas de inversionistas de capital de riesgo (venture capitalists) de los Estados Unidos. Inmerso en su ADN, el espíritu y visión de centros de investigación como SLAC es impulsar proyectos científicos multidisciplinarios y multicolaborativos. Este espíritu se nota, no solo en la participación directa de múltiples grupos de investigación de todo el mundo en la ejecución de los experimentos; sino también en el compromiso y voluntad de ayudar de parte del staff, que hace todo lo posible para que los experimentos sean exitosos. En la era actual de la ciencia mundial, en la que se ha fomentado e impulsado mucho la competencia y otras motivaciones de carácter individual, todo esto llega como una bocanada de aire fresco. Pero no siempre fue así. Años atrás, la ciencia del siglo XX, tanto en el sector público como privado, estuvo caracterizada por el financiamiento de grandes proyectos científicos caracterizados por la colaboración y discusión de ideas antes de dar pie a conceptos verdaderamente innovadores que han revolucionado y transformado la ciencia y teniendo un impacto muy significativo en nuestro estilo de vida actual. Tal es el caso de lo que se logró con los laboratorios Bell,⁴ que nacieron como una división de la compañía de teléfonos AT&T para resolver problemas de carácter técnico y que pronto evolucionó en un conglomerado dedicado a la ciencia fundamental, con política de puertas abiertas para promover la discusión interdisciplinaria, que de manera última dió como resultado inventos como el transistor, la fibra óptica, y el láser; además de todos los proyectos de ciencia fundamental que dieron lugar a un total de 21 premios Nobel. La clave en el exitoso modelo de los laboratorios Bell, consistió en promover la colaboración, y en fondear a gran escala, líneas de investigación a largo plazo en donde hubiera la flexibilidad de incorporar proyectos que fueran resultado directo de la discusión entre pares de diferentes disciplinas. En palabras del físico francés Serge Haroche, laureado en 2012 con el premio Nobel, la ciencia, para que funcione adecuadamente y florezca, requiere de confianza y de tiempo:⁵ confianza en el sentido de que los proyectos deberían ser financiados sin la estricta justificación que en estos tiempos es requerida y que a menudo tiene una

1. Zhou F, Adolphsen C, Dowell D and Xiang R, “Overview of CW electron guns and LCLS-II RF gun performance”, *Front. Phys.* 11:1150809, (2023). doi: 10.3389/fphy.2023.1150809
2. “LCLS-II: A World-Class Discovery Machine”, (2023), <https://lcls.slac.stanford.edu/lcls-ii>
3. A. Bhowmick, R. Hussein, I. Bogacz, P. S. Simon, M. Ibrahim, R. Chatterjee, M. D. Doyle, M. H. Cheah, T. Fransson, P. Chernov, I.-S. Kim, H. Makita, M. Dasgupta, C. J. Kaminsky, M. Zhang, J. Gätcke, S. Haupt, I. I. Nangca, S. M. Keable, A. O. Aydin, K. Tono, S. Owada, L. B. Gee, F. D. Fuller, A. Batyuk, R. Alonso-Mori, J. M. Holton, D. W. Paley, N. W. Moriarty, F. Mamedov, P.

D. Adams, A. S. Brewster, H. Dobbek, N. K. Sauter, U. Bergmann, A. Zouni, J. Messinger, J. Kern, J. Yano and V. K. Yachandra, “Structural evidence for intermediates during O₂ formation in photosystem II”, *Nature* **617**, 629, (2023), doi: 10.1038/s41586-023-06038-z

4. John Gertner, “True Innovation”, *the New York Times*, (2012), <https://www.nytimes.com/2012/02/26/opinion/sunday/innovation-and-the-bell-labs-miracle.html>

5. MLA style: Serge Haroche – Biographical. NobelPrize.org. Nobel Prize Outreach AB (2024). <<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2012/haroche/biographical/>>



influencia y sesgo en las conclusiones de muchos proyectos de investigación; y por otro lado, estos requieren de tiempo suficiente para ser realizados adecuadamente, en contraste con los resultados que se piden actualmente en periodos muy cortos de tiempo, lo que también impacta en la calidad de los mismos.

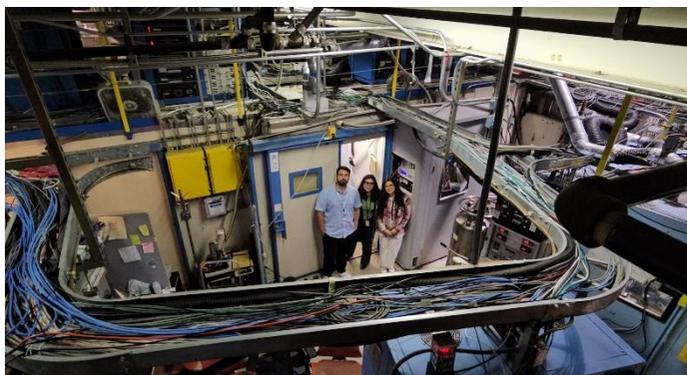


Figura 2. Estación experimental para absorción de rayos X (línea 7-3) en el sincrotrón SSRL del laboratorio nacional SLAC de la universidad de Stanford.

El descubrimiento de los rayos X en 1895 no solo detonó la revolución cuántica que ocurrió años después, permitiendo por ejemplo el acceso a un mayor número de líneas espectrales que pudieron explicarse primero con el modelo de Bohr, y después con el modelo atómico mecánico-cuántico; sino que este descubrimiento en sí mismo dio pie al desarrollo de fuentes de luz sincrotrón algunas décadas después. Posterior al descubrimiento de los rayos catódicos, a Roentgen se le ocurrió incrementar el voltaje que se utilizaba entre la pistola de electrones en el cátodo y el ánodo, hasta 25,000 volts, con lo cual logró producir radiación con mucha más energía que la que tradicionalmente se generaban con un tubo de rayos catódicos.⁶ El principio básico detrás de la producción de radiación a partir de partículas aceleradas es la conservación de energía implícita en el cambio de trayectoria de los electrones al desplazarse entre cátodo y ánodo, la cual se manifiesta con la producción de radiación. Esto dio pie al desarrollo de tubos de rayos X, que se utilizan en fuentes de laboratorio para difracción de rayos X o por ejemplo en instrumentos médicos usados en radiología. Tiempo después, en los años 40s se comenzaron a desarrollar los primeros precursores del sincrotrón moderno conocido como betatrón que utiliza el mismo principio que los tubos de rayos X, pero que a propósito desvía la trayectoria de electrones acelerados a voltajes muy altos de una manera más pronunciada con ayuda de imanes curvos, lo que de manera última ayuda a incrementar la brillantez de la radiación.

Estación experimental para absorción de rayos X (línea 7-3) en el sincrotrón SSRL del laboratorio nacional SLAC de la universidad de Stanford.

El sincrotrón moderno, que originalmente fue desarrollado bajo el mismo principio que el betatrón, contiene además de los imanes curvos, dispositivos magnéticos conocidos como onduladores e imanes de Wiggler puestos en funcionamiento por primera vez en el sincrotrón SSRL en Stanford en 1979, lo que ayudó a incrementar la producción de radiación de manera quasi-continua del espectro electromagnético desde radiación infrarroja hasta rayos cósmicos con mucha más brillantez que nunca antes.⁷ Esto ha disparado desde entonces el desarrollo de una gran cantidad de técnicas basadas en rayos X y de toda una serie de instrumentación que ha hecho posible la caracterización electrónica de compuestos químicos, de biomoléculas, y de materiales, en diferentes escalas de espacio, tiempo y momentum. El más reciente desarrollo en utilizar imanes onduladores de Wiggler es el láser de rayos X originados a partir de electrones libres (xFEL), que precisamente ha contribuido enormemente en la resolución en el tiempo de procesos dinámicos ultra-rápidos en química, biología y ciencia de materiales.

La infraestructura y el correspondiente mantenimiento, en todos estos desarrollos no es algo que pueda costearse por un solo grupo de investigación, una universidad o instituto de investigación por sí mismos, sino que ha requerido del financiamiento a gran escala por parte del gobierno de todo un país o de los gobiernos de varios países en conjunto. Fundamental al éxito de estos centros de investigación ha sido además el impulso a proyectos de investigación de frontera, para lo cual esta infraestructura con universidades e institutos de investigación está abierta a usuarios de todo el mundo quienes envían sus propuestas para experimentos cuya pertinencia es evaluada por un panel internacional.

Además del sincrotrón, que acelera partículas con el fin de producir radiación, el primo hermano de este, el ciclotrón, requiere también de financiamiento a gran escala con un propósito distinto. El ciclotrón es un acelerador de partículas que tiene el propósito de generar partículas (por ejemplo, positrones con fines médicos), o para producir radio-nucleótidos. El ciclotrón es el predecesor del sincrotrón y del gran colisionador de hadrones del consejo europeo para la investigación nuclear (CERN), cuya función es investigar las leyes que gobiernan la naturaleza estudiando las colisiones entre partículas aceleradas a velocidades cercanas a la velocidad de la luz. Dichas leyes de la naturaleza incluyen el estudio del origen de la fuerza de gravedad, el origen de la masa (modelo estándar), el origen del universo, entre otros de carácter fundamental. Un proyecto de las dimensiones del gran colisionador de hadrones ha requerido un esfuerzo financiero multinacional no solo en su funcionamiento, sino también en la colaboración a gran escala de científicos de todos los países asociados, pues en cada experimento se colecta una cantidad enorme de datos que requieren de un análisis

6. Röntgen, Wilhelm Conrad: "Über eine neue Art von Strahlen. Fortsetzung. In: Sitzungsberichte der Würzburger Physik.-medic. Gesellschaft". Würzburg, (1896), S. 19

7. H. Winick, G. Brown, K. Halbach, and J. Harris, "Synchrotron Radiation: Wiggler and Undulator Magnets," *Physics Today* **34**, No. 5 (1981) 50.



compartido. De hecho, el internet es un subproducto inventado en CERN en 1989, resultado de la necesidad que se tuvo para compartir una gran cantidad de datos de manera rápida y eficiente.

Otros proyectos a gran escala que requieren financiamiento gubernamental incluyen los programas espaciales, que aunque para muchos representa un lujo innecesario, su impulso ha causado también avances científicos y tecnológicos que luego han beneficiado y motivado otros desarrollos en otras áreas científicas.

Quizás lo más criticable de la ciencia a gran escala es la ayuda directa o indirecta que se ha tenido hacia el complejo militar y en general a incitar la guerra. Desafortunadamente, la escalada en el desarrollo armamentístico, que inició con el Proyecto Manhattan durante la Segunda Guerra Mundial, y que continuó con la guerra fría y luego hasta nuestros tiempos, ha impulsado inversiones de los gobiernos de EE. UU, Reino Unido, Rusia, China, Iran, Corea

del Norte, Israel, Arabia Saudita y la Unión Europea que ascienden a varios billones de dólares, y que en su lugar podrían haber sido invertidos en erradicar problemas sociales alrededor del mundo como la hambruna, y el acceso al agua y vivienda justas, por mencionar algunos; o por ejemplo, para incrementar el financiamiento a gran escala de proyectos científicos de gran relevancia actual como aquellos que están enfocados a contrarrestar el cambio climático y/o a la generación de energías alternativas a los combustibles fósiles. En ese sentido, además del financiamiento a gran escala habríamos de regresar a que la ejecución y ejercicio de la ciencia fuera algo más parecido a la que prevalecía en el tiempo en el que se fomentaba más la discusión y la colaboración, que la competencia. La historia nos ha demostrado que cuando esto ha ocurrido es cuando más hemos progresado, con el desarrollo de ideas y teorías mucho más significativas y profundas.