

Historia y epistemología de la Física y la Astronomía y su relación con el proceso de enseñanza-aprendizaje de estas ciencias

El Instituto de Asuntos Nucleares (IAN): Un análisis desde la perspectiva de los sistemas complejos

Nuclear Issues Institute. An analysis from complex systems perspective

O Instituto de Assuntos Nucleares. Uma análise desde a perspectiva dos sistemas complexos

Clara Inés Chaparro Susa¹

Resumen

En este trabajo el IAN se presenta un sistema complejo en el que se destacan tres niveles de organización que emergen de las relaciones entre la actividad científica y la sociedad en la que se realiza. La investigación histórica permite documentar rasgos significativos de la dinámica y actividad científica en Colombia en la segunda mitad del siglo XX, tales como: una singular política de conformación de institutos científicos adscritos a los ministerios, una manifiesta dependencia extranjera de la comunidad científica relacionada con las ciencias nucleares y una subvaloración por parte de la sociedad civil hacia los productos científicos nacionales. De otra parte, nos permite proyectar sus alcances en la formación de docentes en física, en tanto se ilustra la actividad de una comunidad científica nacional, que se comprende como una actividad cultural articulada a contextos sociopolíticos que la generan y la determinan.

Palabras Claves: ciencias nucleares, historia de la ciencia, política, sistemas complejos y sociedad.

Abstract

In this work IAN [by its acronym in Spanish] is introduced as a complex system in which three important organization levels come up from the relation between the scientific activity and the society performing them. Historic research permits to account on significant traits in the dynamics of the scientific activity in Colombia in the second half of XX century, as follows: a singular conformation policy of scientific institutes subject to the ministries, a clear foreign dependence of the scientific community related to nuclear sciences, and a disregarding valorization from the civil society towards scientific national produce. On the other hand, it allows us to

¹ Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá, Colombia. Contacto chaparro@pedagogica.edu.co

	<p>prefigure its attainments in the formation of physics teachers by illustrating the activity of a scientific national community, understood as a cultural activity linked to socio-political contexts producing and determining it. Keywords: History of science, nuclear sciences, complex systems, politics and society.</p> <p>Resumo Neste trabalho o IAN apresenta-se como um sistema complexo no qual destacam-se três níveis de organização emergindo das relações entre a atividade científica e a sociedade na qual essa se realiza. A pesquisa histórica admite documentar rasgos significativos da dinâmica da atividade científica na Colômbia na segunda metade do século XX, tais como: um singular política de conformação de institutos científicos adscritos aos mistérios, uma indubitável dependência estrangeira da comunidade científica relacionada com as ciências nucleares e uma sob valoração de parte da sociedade civil para com os produtos científicos nacionais. De outro lado, permitindo-nos projetar os atingimentos na formação de docentes em física, por enquanto ilustra-se a atividade de uma comunidade científica nacional, compreendida como uma atividade cultural emparelhada com contextos sócio-políticos que a produzem e a determinam. Palavras-chave: História da ciência, ciências nucleares, sistemas complexos, política e sociedade.</p>
--	---

INTRODUCCIÓN

Para comprender la dinámica de la actividad científica en Colombia se analiza el devenir del Instituto de Asuntos Nucleares (IAN), entendiéndolo como un sistema organizacional en el que se enfatizan las múltiples relaciones de sus elementos constitutivos, así como con su entorno. En palabras de Luhmann (1998) “En general, se puede hablar de sistema cuando se tiene ante los ojos características que, si se suprimieran, pondrían en cuestión el carácter de objeto de dicho sistema. A veces, también se llama sistema al conjunto de dichas características” Bajo esta línea de pensamiento el IAN se asume como un sistema organizacional, un sistema cerca del (pero no en) equilibrio, Laszlo (1989).

En el trabajo se retoma la metodología denominada “sistemas complejos” García (2006) para estructurar los niveles y procesos que configuran el objeto de investigación: la dinámica de una institución científica. En este contexto, nos acercamos a lo que Rodríguez (2010) denomina *Institucionalismo histórico* (IH). “En términos de abordaje metodológico el IH pone el acento en cómo emergen las instituciones a través de un proceso temporal concreto (Thelen, 1999), prestando atención a las coyunturas críticas y a la formación de procesos de largo alcance (Pierson, 2002). Por lo tanto, los objetos de estudios son pensados e investigados teniendo en

cuenta variables temporales y contextuales (Skocpol, 1980), las cuales tienen un rol fundamental en la explicación de fenómenos sociopolíticos complejos, vinculados a una causalidad múltiple y coyuntural (Ragin, 1987).²

Configuración del IAN como un sistema dinámico

En Colombia, se venía incursionando en el terreno de la física radiactiva, desde 1920 con la primera aplicación de radio en Bogotá, el posterior trabajo de la comunidad médica en cabeza del Dr. José Vicente Huertas, que se orientó al desarrollo de la investigación y aplicación del radio en la cura del cáncer, y con la inauguración del Instituto Nacional de Radium en 1934 Otero (1999).

El trabajo de aplicación de la radiación con fines terapéuticos, contó con mayor apoyo institucional una vez Colombia ingresó al programa Átomos para la Paz. Programa desarrollado por el presidente de los Estados Unidos Eisenhower, como lo expone Romero de Pablos

“El presidente Eisenhower el 8 de diciembre de 1953 propuso ante la ONU la creación de un organismo internacional de energía atómica, la International Atomic Energy Agency (OIEA), con el objeto de apoyar y poner en marcha proyectos atómicos pacíficos que dejaran en el olvido los desastres ocasionados por las bombas” (2012) p. 141-162.

En este contexto, en 1956 fue fundado El Instituto Colombiano de Asuntos Nucleares ICAN en el gobierno del General Gustavo Rojas Pinilla, que obedeció en el caso Colombiano, más a los acuerdos bilaterales con Estados Unidos que a iniciativas de la insipiente comunidad de físicos nucleares. Lo que no ocurrió en el caso de Argentina. Hurtado de Mendoza (2005) “Mientras que la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) había sido creada en 1950 como soporte administrativo de las actividades de Richter y dependía directamente del Poder Ejecutivo, la DNEA, creada al año siguiente como organismo dependiente del Ministerio de Asuntos Técnicos, apuntó al entrenamiento de científicos y técnicos locales. Como parte de este proceso, en 1953 se organizó el primer curso sobre reactores nucleares destinado a investigadores jóvenes”.

² Las referencias incluidas por Leonardo G. Rodríguez corresponden a Thelen, Kathleen. 1999. Historical Institutionalism in Comparative Politics. *Annual Review of Political Science* 2:369-404. Pierson, Paul; Skocpol, Theda. 2002. Historical Institutionalism in Contemporary Political Science. In *Political Science: The State of the Discipline*, editado por Ira; Milner Katznelson, Helen. New York: Norton. Ragin, Charles. 1987. *The Comparative Method: Moving Beyond Qualitative and Quantitative Strategies*. Berkeley, California: University of California Press. Skocpol, Theda; Somers, Margaret. 1980. The Uses of Comparative History in Macro-Social Theory. *Comparative Studies in Society and History* 22:174-197.

Las investigaciones desarrolladas por los científicos argentinos, desde inicios de la década de los 30, los llevarían a construir su primer reactor nuclear que alcanzó el estado crítico en 1958 con relativa independencia de Estados Unidos, pues al igual que Colombia, Brasil, México y otros 14 países, Argentina se integró al programa Átomos para la paz y firmó los respectivos convenios bilaterales con Estados Unidos. De igual manera encontramos desarrollos de las ciencias nucleares en Brasil y México, en este último de acuerdo con Esqueda (2013) “Nabor Carrillo, a partir de 1955, tuvo la posibilidad de promover el desarrollo de la energía nuclear desde dos instituciones, la UNAM, de la cual era Rector y desde la Comisión Nacional de Energía Nuclear CNEN”.

En 1959³ bajo la presidencia de Alberto Lleras Camargo se reestructura y es asignada su dirección a una Junta Directiva conformada por los representantes de los ministerios de Guerra, Salud, Fomento, Minas y Petróleos y Educación, con un Director Ejecutivo, nombrado directamente por el presidente de la República, con carácter de libre nombramiento y remoción.

Por medio del decreto 2660 del 30 de septiembre de 1959 se designó como Director Ejecutivo al doctor Tulio Alberto Marulanda, Ingeniero Químico, antiguo jefe del Departamento Técnico de la Comisión de Energía Atómica de Colombia. Marulanda entraría a jugar un papel preponderante en el desarrollo del IAN, particularmente en el proceso de recepción del reactor nuclear, donado por los Estados Unidos, para el cual fue necesario desarrollar una infraestructura y condiciones técnicas adecuadas.

De acuerdo con el análisis de la actividad científica colombiana en la segunda mitad del siglo XX, realizado en el marco de esta investigación, se estableció que el IAN hace parte de un entorno constituido por un dinámico sistema de 20 institutos de investigación científica (Fig.1). Se encuentran estructurados de una manera análoga y mantienen relaciones significativas con un entorno más amplio conformado por instituciones científicas internacionales.

³ Decreto presidencial No 2345 de 29 de agosto 1959 Diario Oficial

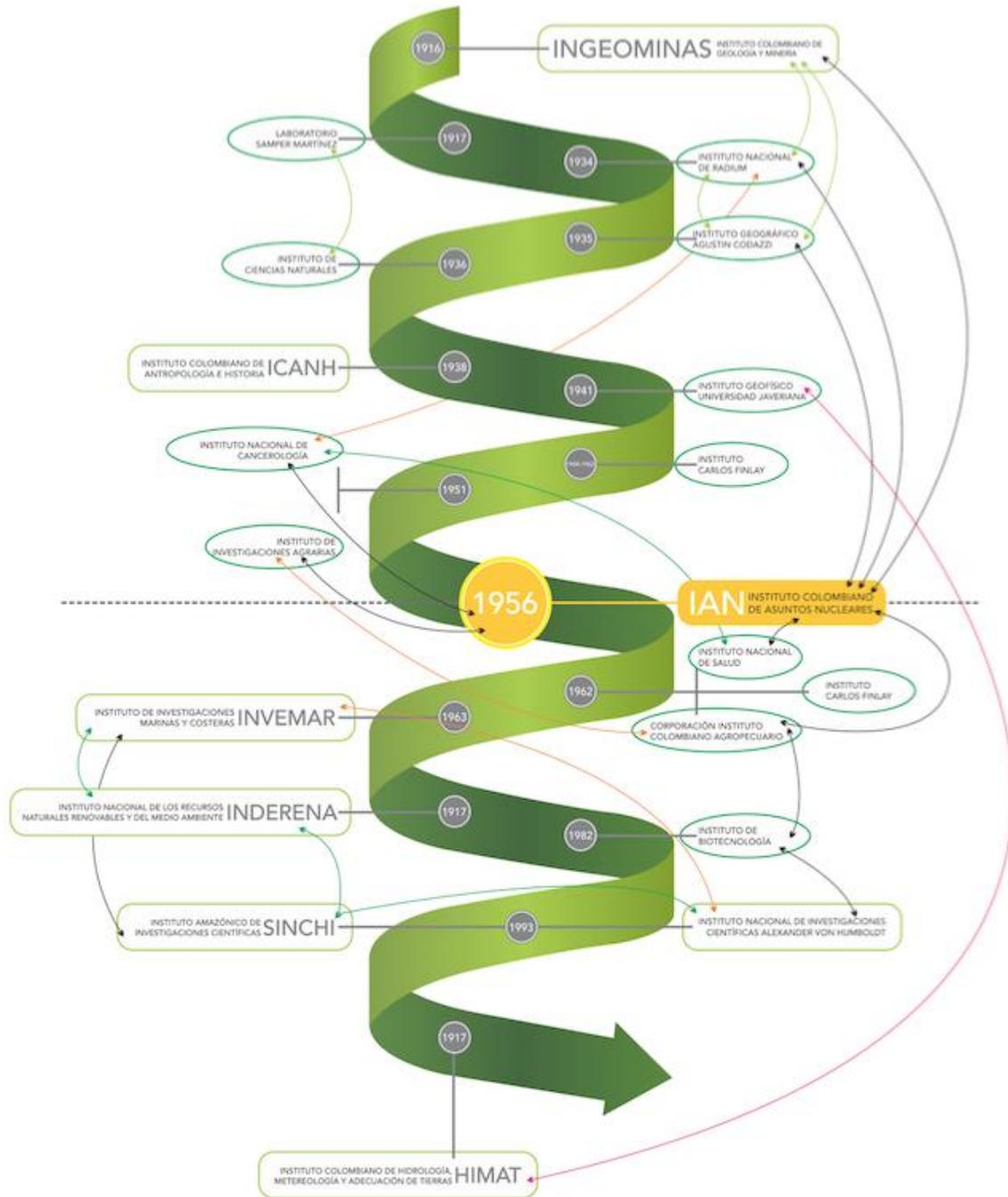


Figura 1: Red de Institutos científicos colombianos. Fuente: Elaboración propia del autor.

Desde la perspectiva asumida en este trabajo, en el devenir del IAN se configuran 3 procesos:

- 1. Procesos de primer nivel: el reactor como centro de acción.** Los elementos relevantes que componen este primer nivel de análisis son: el reactor que determina el límite de

capacidad tecnológica del IAN y el grupo de profesionales que operan el reactor y hacen posible la investigación en el campo de las ciencias nucleares que se refleja en las publicaciones realizadas.

Como lo describe Ahumada (1989), el reactor IAN-R1 es un reactor de baja potencia para uso exclusivo de investigación, tiene una configuración tipo piscina, con un núcleo formado por 16 elementos combustibles en un arreglo de 4X4 con grafito como reflector. Cada elemento combustible consiste de 10 láminas formadas por uranio U_{235} metálico, enriquecido al 90 %, recubierto con aleación de aluminio. Un pequeño reactor de potencia 10 KW que luego se amplió a 30 kW. Que determina, por un lado, los límites de capacidad tecnológica para las investigaciones adelantadas por el IAN, como lo expone Winner (1987), “los rasgos específicos del diseño o disposiciones de un aparato o sistema pueden proporcionar un medio conveniente para el establecimiento de determinados criterios de poder y autoridad en un ambiente dado” y por otro como lo plantea García (2011) “la importancia de la experimentación en la construcción misma del conocimiento científico”, pues el reactor es un artefacto de gran utilidad en la enseñanza de la física nuclear basada en las prácticas experimentales.

En segundo lugar, en cuanto a la cualificación de personal idóneo en el campo de la física nuclear y sus aplicaciones, del estudio realizado en las actas de la junta directiva del IAN, del archivo del IAN,⁴ se constata que, en la década del 80, aumentó considerablemente el número de becarios al exterior para capacitarse en diferentes campos. Cien profesionales adscritos a las 14 áreas que conformaban el IAN realizaron estudios de especialización y cursos de actualización, particularmente en Brasil, Argentina, Chile, México y EEUU⁵. En el curso de la investigación se pudo establecer que durante este periodo de tiempo se encuentra la mayor producción escrita de los investigadores del IAN, 300 artículos publicados en revistas internacionales y nacionales, que dan cuenta de la actividad de los grupos de investigadores que hicieron parte del IAN. Vale decir que del total de publicaciones el 91,7 % se realizaron a nivel nacional y el 8,3 % a nivel internacional⁶.

⁴ Actas de junta directiva 2/04/1974 a 17/10/1991. Período 7 caja 2 carpeta No 10 Archivo del IAN.

⁵ En la década de los 80, Colombia mantiene con 48 países convenios en la perspectiva de apoyo para la capacitación de personal especializado y transferencia de tecnología nuclear.

⁶ Estudio bibliométrico inicial, con base en los informes que el IAN entregaba anualmente al Ministerio de Minas y Energía, disponibles en el Archivo Nacional y corroborados con los datos reportados en el libro *30 años del IAN. Ciencia y tecnología para el progreso 1989*. Editorial Instituto de Asuntos Nucleares. Bogotá, Colombia.

Podemos ver cómo la investigación inicia un camino de reconocimiento, producto de la consolidación de las líneas de investigación. Al comparar la producción del IAN con la de otro Instituto Nuclear de América Latina (México) salvando las diferencias tecnológicas y el número de investigadores, podemos inferir que la producción de artículos de los grupos de investigación del IAN es relativamente significativa, lo que muestra cómo el IAN al cualificar una centena de científicos fortaleció la consolidación de la comunidad científica colombiana.

2. Proceso de segundo nivel. El IAN como centro de investigación

Este nivel permite expresar la dinámica de investigación del IAN y su articulación con el sector industrial y productivo.

Tal como lo expresa (Ahumada ,1989) el instituto se comprometió desde su inicio con el

“(…) fomento de la investigación científica y tecnológica en el área de la energía nuclear, así como el desarrollo de las tecnologías necesarias para adelantar el ciclo del combustible nuclear”. En cumplimiento de este objetivo, el IAN presenta una dinámica centrada en el desarrollo de proyectos de investigación tendientes a la solución de problemas contextualmente pertinentes, como por ejemplo en el campo de la agricultura y la salud. En este sentido, son significativas las palabras del director del IAN en el discurso de inauguración “Todo ascenso es proporcional a un impulso. La industrialización de un país, como ascenso que es hacia las metas de desarrollo material y de bien estar humano, necesita el impulso de la investigación científica para que crezca sana y próspera. Hoy en día, sin investigación es físicamente imposible que los pueblos puedan progresar de modo ordenado y eficaz. De aquí nuestro empeño en organizar este Instituto como un centro auténtico de investigación, que le ayude a Colombia a resolver sus grandes problemas.”

Así, los proyectos impulsados y financiados por el Instituto se articulan directamente con los hospitales, laboratorios clínicos, la industria y la agronomía; a partir de la investigación aplicada el Instituto logra una valoración social inicial⁷; particularmente por medio de la producción de radioisótopos necesarios para la industria y la salud. Durante la existencia del IAN, la producción de radioisótopos le permitió a Colombia bajar las inversiones en su importación, Mahecha (1989) “el IAN paso de producir en 1981 el 1,2 % de los isótopos requeridos en el país, al 8,9 % en 1988”. De haber seguido esta tendencia el país, en pocos años hubiese logrado una significativa producción de radioisótopos; sin embargo, la industria colombiana no demandó ni financió decididamente proyectos de investigación que incorporaran las ciencias nucleares para dar respuesta a problemas genuinos localmente, aun cuando los proyectos de investigación aplicada

⁷ Ver informes de labores anuales del IAN 1986, 1987, Archivo Nacional.

se realizaran de manera rigurosa y con alta calidad, como en el caso de producción de radioisótopos.

El argumento de Villaveces (2002) con relación a lo que caracteriza nuestra cultura empresarial “apostar a contracorriente de la experiencia y la razón a la única estrategia que con seguridad es perdedora: la de organizar sus empresas con base en la tecnología liberada por sus competidores.” Este elemento, que se expresa en la sobrevaloración de los productos de la ciencia extranjera, aun a costa de mayores inversiones, termina siendo un rasgo distintivo en nuestra cultura, que se generaliza en la poca credibilidad de los productos nacionales por considerarlos de baja calidad, ignorando incluso los resultados científicos o tecnológicos de estándares de calidad sobre los productos nacionales y que, en este caso, lleva a que la producción de radioisótopos desde el IAN, no tenga la demanda y el apoyo requerido para su consolidación.

3. Procesos de tercer nivel. Relación del IAN con las políticas internacionales

En este nivel se describe los condicionamientos a la dinámica del IAN derivados de las políticas internacionales que se concretan en los convenios suscritos en el marco de ellas.

Recordemos, que la creación de este Instituto se deriva de la firma del convenio bilateral entre Colombia y Estados Unidos en el marco del programa Átomos para la Paz y, en particular, del tratado multilateral con el Organismo Internacional de Energía Atómica OIEA⁸ que marcaron los horizontes del Instituto y sus áreas de desarrollo. Asimismo, la labor de investigación del Instituto no solo dependía de la capacidad técnica de los equipos que este poseía, como lo fue el reactor R1 anteriormente descrito técnicamente, adquirido por Colombiano, a través de un subsidio por valor de 350.000 dólares,⁹ concedido por la comisión de energía atómica de los Estados Unidos y de la capacitación, y conocimientos especializados del personal adscrito, sino de los múltiples convenios internacionales que las direcciones del Instituto y el gobierno nacional firmaban.

Convenios suscritos con varios organismos internacionales y, también, con numerosos países entre los que se destacan la República Federal de Alemania, República Democrática de

⁸ El OIEA es una agencia intergubernamental autónoma fundada en 1957 con base en una decisión de la Asamblea General de las Naciones Unidas, con el objeto de “acelerar y aumentar la contribución de la energía atómica a la paz, la salud y la prosperidad en el mundo entero”.

⁹ correspondencia IAN folio 25-26 carpeta 1 caja 3 periodo 3 archivo IAN

Alemania, Bulgaria, Bélgica, Corea, Costa de Marfil, Checoslovaquia, China Popular, Dinamarca, Egipto, España, entre una treintena más. De esta manera, Colombia firma tratados bilaterales y multilaterales; junto con diez países latinoamericanos (Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela, Argentina, Brasil, Chile, Paraguay, Uruguay). Adicionalmente, firma un tratado con el **OIEA**, denominado *Arreglos Regionales Cooperativos para la Promoción de la Ciencia y la Tecnología Nucleares en América Latina (ARCAL)* con el propósito de adelantar proyectos de investigación pertinentes a las necesidades de la región.

Un tercer tratado, con la *Comisión Interamericana de Energía Nuclear (CIEN)*, para servir de centro de consulta de los Estados miembros y facilitar la cooperación entre ellos en materias relacionadas con la aplicación pacífica de la energía nuclear. Esta comisión fundamentalmente colaboró en la capacitación de personal técnico para el IAN. Otro tratado multilateral fue el de **Tlatelolco**,¹⁰ *Acuerdo de Salvaguardias y Organización para la Proscripción de las Armas Nucleares en América Latina*. En términos generales, los países que lo suscriben están obligados a utilizar exclusivamente con fines pacíficos el material y las instalaciones nucleares sometidas a su jurisdicción.

Como elemento de política a destacar indagemos el proceso de cierre del IAN, que ilustra de manera ejemplar la forma como han sido concebidos y dirigidos los institutos científicos en Colombia. Con el gobierno del presidente César Gaviria (1990-1994) se promueve una reestructuración del estado colombiano y se ejecuta una política de reducción de sus funciones, en esta perspectiva comienza el desmonte de algunos institutos de investigación científica.

La forma de materializar esta política en Colombia, se evidencia con la puesta en marcha de la apertura económica de Gaviria y de cada uno de los gobiernos posteriores, que fueron fortaleciéndola a través de reformas constitucionales y de leyes reglamentarias que buscaban la redefinición del gasto público, la reforma tributaria, la privatización de empresas estatales (caso de los servicios públicos, la salud y la banca) y la supresión de varios institutos de investigación como el IAN cerrado por decreto presidencial No. 1682 de 1997.

¹⁰ La Ley 45 de diciembre 31 de 1971 aprobó el "Tratado para la Proscripción de las Armas Nucleares en América Latina"

REFLEXIONES FINALES

La elaboración de la historia de un Instituto como el IAN desde la perspectiva de los sistemas complejos, nos permite valorar de manera significativa las múltiples relaciones y niveles de organización que se lograron para dar existencia a un instituto científico, aportando a los educadores, una mirada menos lineal y causalista. En este sentido se resalta: en relación con la comunidad interdisciplinar, como los grupos de investigadores del IAN a través de los proyectos de investigación consolidan una primera comunidad nacional usuaria de la ciencia nuclear; a través del desarrollo de proyectos de investigación, que llamaremos genuinos, en tanto tienen sentido para un contexto nacional, particular. Es el caso de proyectos de hidrología como el estudio de la Ciénaga de Santa Marta, las investigaciones en el campo de la agricultura: “el área de agricultura realizó con la OEI y el ICA diferentes experimentos en los cultivos de trigo, haba, sorgo, arroz y cebada”¹¹ y la producción de radioisótopos que como se mencionó llegó en los 80s a ser casi del 10 % de los requeridos por la industria y la medicina nacional.

Desde la esfera gubernamental, se constituye en una excusa para que el país se comprometa con la legislación nuclear construida por Estados Unidos, además de garantizarle que el material radiactivo colombiano no fuese a parar a otros países.

En este contexto las limitaciones de carácter tanto tecnológicas como políticas incidieron directamente en el funcionamiento del Instituto, es decir, en sus investigaciones y posibilidades de desarrollo científico, lo que constata Vessuri y Gallego (2015) que “la búsqueda guiada por la curiosidad y el conocimiento libre, serán cada vez más desafiadas por las consecuencias de las políticas de conocimiento para el esfuerzo científico”.

Puede afirmarse que el reactor IAN R1, como instrumento tecnológico sirvió para: mantener una imagen del gobierno moderna, positiva y favorable a los avances de la ciencia; para impedir, que el país realmente se comprometiera con el desarrollo de programas nucleares de punta, por ejemplo, la negativa reiterada de adquisición de adecuaciones tecnológicas que exigían mayores potencias para el reactor o en últimas la adquisición de otro tipo de reactor que efectivamente sirvieran para adelantar investigación de frontera en el campo nuclear, y para fortalecer la transferencia de tecnología relacionada con lo nuclear, tecnología desarrollada principalmente por Estados Unidos.

¹¹ Informe de labores IAN. 1985, 1986, 1987 Archivo Nacional.

Finalmente, las limitaciones de tipo político, como el carácter dependiente de la política exterior colombiana, marcaron el estilo con el cual las directivas del IAN orientaron la vida de este instituto. Se puede afirmar que dicha dirección se hace más desde presunciones y criterios de carácter ideológico, que obedeciendo a resultados de investigaciones pertinentes. Romero (1989). En este sentido, la historia del IAN ilustra la escasa autonomía de la política exterior colombiana, la debilidad de nuestro Estado y su tendencia sumisa hacia las determinaciones internacionales. Estos rasgos socioculturales hacen que tanto la creación del Instituto, como su desarrollo y cierre, estuvieran determinados por directrices internacionales, abortando los procesos de conformación y consolidación de comunidad científica en ciencias nucleares y desaprovechando la infraestructura tecnológica lograda en más de cuatro décadas.

Dado que uno de los propósitos de la enseñanza de las ciencias tiene que ver con comprender la dinámica de producción de conocimiento de las comunidades científicas y su articulación con la sociedad y el Estado, este estudio constituye un referente contextualizado para analizar con los maestros de ciencias en formación los procesos de producción científica en un país como Colombia y valorar la posibilidad de fortalecerla.

REFERENCIAS

- Actas de junta directiva 2/04/1974 a 17/10/1991. Período 7 caja 2 carpeta No 10 Archivo del IAN.
- Ahumada, J., y Zuleta, S. (1989). *Instituto de asuntos nucleares 1959-1989 ciencia y tecnología para el progreso*. Bogotá, Colombia. Editorial IAN.
- Correspondencia IAN folio 25-26, carpeta 1, caja 3, periodo 3. Archivo IAN.
- Esqueda, E., y Ramos, M. (2013). Nabor Carrillo: pionero de la energía nuclear en México. *Quipu, Revista latinoamericana de Historia de las Ciencias y la tecnología*, 15(3), 285-319.
- García, E. (2011). Modelos de explicación, basados en prácticas experimentales. Aportes de la filosofía historicista. *Revista Científica*, 14, 89-96. DOI: <https://doi.org/10.14483/23448350.3704>
- García, R. (2006). *Sistemas Complejos*, Barcelona, España, Editorial Gedisa.
- Hurtado de Mendoza, D. (2005). De "átomos para la paz" a los reactores de potencia: Tecnología y política nuclear en la Argentina (1955-1976). *Revista iberoamericana de ciencia tecnología y sociedad*, 2(4), 41-66.
- Informe de labores IAN. (1985, 1986, 1987). Archivo Nacional.

- Laszlo, E. (1989). *La gran Bifurcación*. España. Editorial Gedisa.
- Luhmann, N., y De Georgi, R. (1993). *Teoría de la Sociedad*, México: UIA-U de G-ITESO.
- Luhmann, N. (1997). *Organización y decisión. Autopoiesis, acción y entendimiento comunicativo*, España. Antropos.
- Mahecha, C. (1989). *Estudio comparativo de suministros de radioisótopos de 1974 – 1989*. Bogotá, Colombia. Editorial IAN.
- Marulanda, T. (1965). *Discurso de Inauguración IAN*, Caja 284, carpeta 31. Ingeominas, Bogotá, Colombia.
- Otero, E. (1999). *Setenta años del cáncer en Colombia*. Bogotá, Colombia, Editora Géminis.
- Rodríguez, L. (2010). El paradigma la complejidad y la metodología histórica-comparada en ciencia política: desafíos para la construcción del conocimiento. *Revista Argentina de Humanidades y Ciencias Sociales*, 8(1), recuperado. https://www.sai.com.ar/metodologia/rahycs/rahycs_v8_n1_02.htm#arriba1
- Romero de Pablos, A. (2012). Poder político y poder tecnológico: el desarrollo nuclear español (1950-1975). *Revista iberoamericana de ciencia tecnología y sociedad*, 7(21), 141-162.
- Romero M. (15 de febrero de 1989). Asuntos Nucleares. Asuntos Personales, Periódico el Siglo.
- Skocpol, T., y Somers, M. (1980). The uses of comparative history in macrosocial inquiry. *Comparative studies in society and history*, 22(2), 174-197.
- Vessuri, H. y Gallego, P. (2015) Editorial. *Revista Científica*, 22(2), 7-8. DOI: <https://doi.org/10.14483/10.14483/udistrital.jour.RC.2015.22.a1>
- Villaveces J. (2002). Cultura científica, factor de supervivencia nacional. *Innovación y ciencia*, 10.
- Winner, L. (1987). *La ballena y el reactor. Una búsqueda de los límites en la era de la alta tecnología*. Barcelona, España, Gedisa.