

## **EXPERIENCIA DEL INSTITUTO BENINSON EN EDUCACIÓN DE POSGRADO EN RADIOQUÍMICA Y APLICACIONES NUCLEARES**

**Siri, S.<sup>1</sup> , Fornaciari Iljadica, M.C., Furnari, J.C. , Notari, C.**

Instituto de Tecnología Nuclear Dan Beninson  
Comisión Nacional de Energía Atómica. Universidad Nacional de San Martín  
Centro Atómico Ezeiza, Presb. González y Aragón 15 (B1802AYA) Ezeiza  
Buenos Aires, Argentina

### **RESUMEN**

A casi 10 años de su creación, la Especialización en Radioquímica y Aplicaciones Nucleares del Instituto de Tecnología Nuclear Dan Beninson es una de las carreras de posgrado que se mantienen con demanda y éxito en el área de la educación superior en las ciencias nucleares. Las instituciones que la conformaron, la Universidad Nacional de San Martín y la Comisión Nacional de Energía Atómica tuvieron desde el primer día la meta de formar especialistas con sólidos niveles de conocimiento en diversas áreas de la radioquímica, con solvencia en la utilización de instalaciones y equipos que hacen al trabajo profesional en las aplicaciones nucleares, y con miras a su inserción profesional en cualquiera de las ramas principales del área. Y en la actualidad, los objetivos propuestos están siendo cumplidos, dado el creciente número de graduados y alumnos que pasaron y pasan por las aulas donde docentes con larga trayectoria y jóvenes con formación de excelencia enseñan contenidos teórico-prácticos, en contacto directo con grupos de trabajo y proyectos en curso en áreas de investigación, desarrollo y aplicaciones, bajo el marco de una educación con visión integradora. Dichos graduados se encuentran actualmente desempeñándose en diversos programas en la Comisión y otras instituciones de países latinoamericanos, fortaleciendo el avance de la tecnología nuclear y convirtiéndose en los pilares que asegurarán la continuidad de las actividades radioquímicas y la difusión de las aplicaciones nucleares para beneficio de nuestra sociedad. El propósito de este trabajo es presentar la experiencia del Instituto Beninson a lo largo de estos años en esta disciplina académica, compartiendo objetivos, actividades, logros y nuevos retos, como contribución al análisis de las necesidades y expectativas planteadas al presente en la formación de recursos humanos de alta especialización en el quehacer nuclear.

### **1. INTRODUCCIÓN**

El Instituto de Tecnología Nuclear Dan Beninson (IDB) incluye, dentro de su oferta educativa de posgrado, la carrera de Especialización en Radioquímica y Aplicaciones Nucleares (ERAN). Dicho Instituto es el núcleo académico del Centro Atómico Ezeiza, y su creación data del año 2006, a partir de un convenio entre la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM) y la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). Su principal propósito es generar un espacio de intercambio interdisciplinario que posibilite la integración de personal académico, científico y técnico y formar recursos humanos especializados en el campo nuclear.

La ERAN y la Especialización en Reactores Nucleares y su Ciclo de Combustible (ERNCC) fueron las dos primeras carreras dictadas en el IDB, comenzando sus actividades en marzo de 2008 y marzo de 2007 respectivamente. Poco tiempo después la oferta académica se amplió a otras carreras, incluyendo también la realización de seminarios y conferencias sobre distintas temáticas, y cursos a medida para instituciones del sector nuclear, tanto locales como

---

<sup>1</sup> ssiri@cae.cnea.gov.ar

extranjeras. Una de sus más recientes incorporaciones ha sido primera carrera de grado del IDB, la Ingeniería Nuclear con Orientación en Aplicaciones, completando con ella el abanico de programas académicos, abarcando desde el nivel de pregrado hasta el nivel doctoral.

La creación del IDB en el seno de la UNSAM afianzó la asociación de las disciplinas nucleares a esta universidad, hasta entonces solo vinculada cercanamente por las carreras dictadas en el Instituto de Tecnología Prof. Jorge Sábato, también creado por convenio entre las mismas instituciones. El espíritu y motivación de las acciones conjuntas puestas en marcha por UNSAM y CNEA para colaborar en la formación de especialistas en diversas áreas de la tecnología nuclear ha dado un nuevo empuje a la actividad académica de estas disciplinas, la cual no ha tenido amplia difusión dentro de las carreras brindadas por las casas de altos estudios de nuestro país.

A excepción de la fundamental contribución realizada durante su larga trayectoria por el Instituto Balseiro, dependiente de la Universidad de Cuyo y CNEA, pocas han sido las carreras relacionadas con el sector nuclear dictadas por universidades nacionales, aun siendo nuestro país pionero en el desarrollo de la actividad nuclear en la región, particularmente en el área de la Radioquímica.

El inicio de la historia de la Radioquímica en el país se remonta al año 1949, con la llegada del científico alemán Walter Seelmann-Eggebert a la Universidad Nacional de Tucumán, y su paso posterior a la CNEA, fundada en el año 1950. Este científico fue discípulo de Otto Hahn, uno de los descubridores de la fisión nuclear, y ha sido uno de los autores de la primera edición de la internacionalmente reconocida Tabla de Nucleídos del Centro de Investigaciones Karlsruhe. Su labor contribuyó a la formación del primer grupo de radioquímicos del país, que se destacó por sus logros en diversos ámbitos, como la producción de radioisótopos, la aplicación de técnicas analíticas nucleares, la química de radiaciones, el ciclo de combustible nuclear, y el descubrimiento de una veintena de radioisótopos a partir de 1954, empleando un sincrociclotrón adquirido por CNEA, muy moderno y potente para la época, lo que catalogó a esta generación de profesionales como una de las más distinguidas por aquel entonces, a nivel mundial. Sus conocimientos fueron divulgándose dentro de CNEA y hacia diversos campos científicos y tecnológicos, proyectándose también en centros de investigación e instituciones privadas de todo el país. El énfasis que CNEA puso en la formación y especialización de su personal fue trascendiendo al ámbito académico y diferentes carreras dictadas en diversas universidades fueron incluyendo en sus planes de estudios materias relacionadas con la Radioquímica, o cursos sobre aplicación de radionucleidos en distintas ramas del quehacer científico y tecnológico, pero no carreras definitivamente orientadas al desarrollo específico de esta disciplina.

Con el transcurso del tiempo, y producto de la combinación de factores no solamente de origen académico, sino también sociales, económicos y políticos, el interés por el conocimiento de la Radioquímica se ha visto disminuido y el número de cursos orientados al conocimiento de esta disciplina se ha ido reduciendo. No así las tareas vinculadas a la Radioquímica como disciplina de partida. Si bien es conocido el declive por el que transitó la actividad nuclear en épocas pasadas cercanas, también es sabido que ha resurgido el interés por la energía atómica y las aplicaciones que de ella derivan, manifestando una creciente necesidad de formación de especialistas con sólidos niveles de conocimientos capaces de hacer frente a la alta demanda de profesionales idóneos que este resurgir plantea.

Teniendo como antecedente la Maestría en Radioquímica que se dictó por convenio entre CNEA y la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional desde 1999 hasta 2006, fecha de finalización del convenio respectivo, y bajo sólidas evidencias de la necesidad de consolidación de una capacitación formal con el objeto de restituir un ámbito de formación y desarrollo profesional en Radioquímica, el IDB gestó la creación de la ERAN, respondiendo a la reactivación de las actividades nucleares y facilitando la disponibilidad de profesionales con la debida formación académica y experiencia, brindando el contexto en el cual puedan conjugarse los aspectos básicos de la formación teórica del más alto nivel con los ámbitos de su aplicación práctica.

## **2. CARACTERÍSTICAS DE LA CARRERA**

Los objetivos generales de la ERAN se definieron como la formación de especialistas con sólidos niveles de conocimiento en diversas áreas de la Radioquímica y las disciplinas vinculadas, con solvencia en la utilización de instalaciones y equipos que hacen al trabajo profesional en las aplicaciones nucleares, y con miras a su inserción profesional en cualquiera de las ramas principales del área, contribuyendo a mantener la capacidad existente en el ámbito nacional en instalaciones y equipamiento relacionados con la Radioquímica y sus aplicaciones, y la contribución a preservar el alto desarrollo tecnológico alcanzado en el sector nuclear. Estos objetivos están en consonancia con las tendencias del desarrollo nuclear en el ámbito internacional, donde la Radioquímica y las aplicaciones nucleares ocupan una posición destacada.

El dictado de la carrera recibe la contribución de las instituciones que conforman el IDB, con la UNSAM brindando el marco académico y otorgando los títulos a quienes hubieran cumplido los requisitos exigidos, y CNEA facilitando instalaciones, laboratorios, instrumental y material para el cumplimiento eficiente de la labor.

El perfil del egresado fue diseñado de modo que los graduados comprendan, en forma integradora y multidisciplinaria, los aspectos principales de la Radioquímica, los campos relacionados y las aplicaciones de radioisótopos y radiaciones en ámbitos como ciencias básicas, ciencias de la salud, medio ambiente, industria, tratamiento de materiales, técnicas analíticas, producción de radioisótopos, estudios forenses, instrumentos de medición y control, entre muchos otros.

El desempeño profesional en el área de la Radioquímica y las aplicaciones nucleares requiere de diversos conocimientos provenientes de las ciencias e ingeniería nuclear. Es por ello que el posgrado convoca a profesionales graduados en carreras como Química, Bioquímica, Ingeniería Química, pero también a físicos, ingenieros y egresados de disciplinas afines, con carreras de grado de 4 o más años de duración, de instituciones universitarias nacionales o extranjeras reconocidas. Esta carrera les provee de un cuerpo de conocimientos común, pero indudablemente las diferencias de formación suelen reflejarse en la mayor o menor soltura con que los alumnos sortean los diferentes tramos de la capacitación. Esto hace que sea altamente probable que en la etapa de inserción laboral estas diferencias se manifiesten en distintas preferencias en la elección de puestos y responsabilidades a cubrir.

Los alumnos pueden incorporarse a la carrera bajo distintas modalidades; con becas de estudio de dedicación exclusiva otorgadas por CNEA; como parte de la capacitación que CNEA brinda a profesionales jóvenes que ya pertenecen a la institución permitiéndoles

disponer de una cantidad de horas para asistir a clases; o solventando sus estudios de manera particular, ya que la carrera es arancelada. Estas alternativas hacen que la dedicación horaria a las actividades académicas sea distinta en cada caso, y deban organizarse cronogramas de clases adaptados a las necesidades de los alumnos en cada cohorte, para que puedan completar la carrera en tiempo y forma.

La sede principal de la carrera es el Centro Atómico Ezeiza. Los alumnos disponen de micros gratuitos desde varios puntos de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y Gran Buenos Aires para la llegada y regreso del mismo. Las clases y prácticas se realizan en dependencias exclusivamente destinadas a la actividad docente, como en otras pertenecientes a grupos de trabajo dependientes de CNEA, incluyendo algunas actividades en el Centro Atómico Constituyentes. Es de destacar que, además del dictado de clases y la realización de trabajos prácticos en laboratorios radioquímicos especialmente dedicados y equipados para la docencia, se ponen a disposición de la carrera varias instalaciones relevantes del Centro Atómico Ezeiza, como el reactor RA-3 de producción de radioisótopos, el ciclotrón industrial de protones de 42 MeV, las dos Plantas de Producción de Radioisótopos, el Laboratorio de Dosimetría Personal y de Área, el Centro de Espectrometría de Masas con Aceleradores, con un acelerador de iones tipo tándem, donde se realizan visitas y prácticas de carácter formativo, consideradas en la currícula de las materias correspondientes. También se incluyen con este mismo propósito visitas y prácticas en instalaciones de otros centros atómicos e instituciones vinculadas a CNEA, como el Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X del Centro Atómico Constituyentes, las empresas CONUAR, FAE y DIOXITEK, la Fundación Centro Diagnóstico Nuclear, los Centros de Medicina Nuclear del Instituto Roffo y Hospital de Clínicas José de San Martín de Buenos Aires, las cuales brindan acceso a instalaciones tecnológicas complejas y laboratorios de grupos de trabajo en actividad, posibilitando un contacto privilegiado y directo con ámbitos laborales en los que se espera la inserción futura del graduado.

El órgano de gestión de la ERAN está conformado por un director y una coordinadora, en dependencia directa de las autoridades y comité académico del IDB. El plantel docente está integrado por profesionales destacados y activos, con larga trayectoria en sus temas de incumbencia, partícipes de proyectos importantes en diversas áreas de la tecnología nuclear, que compatibilizan en el mismo entorno de trabajo sus tareas laborales con sus actividades en docencia, lo cual no siempre es fácil de realizar dada la complejidad de tareas en la que se encuentran involucrados. La incorporación al plantel docente de jóvenes con formación de excelencia, entrenados junto a profesionales con mayor experiencia docente, ha sido uno de los objetivos propuestos, con la finalidad de favorecer el recambio generacional y la continuidad de tareas. Este objetivo se ha ido cumpliendo, y se prevé la incorporación de más profesionales jóvenes, que sean portadores de conocimiento e idoneidad así como de nuevas ideas para incorporar al proceso de enseñanza-aprendizaje.

La ERAN se concibió con el formato de Especialización, respondiendo a la necesidad de formar graduados en el transcurso de un año académico. Tiene un plan de estudios estructurado, con 12 asignaturas obligatorias, y un trabajo final integrador. Las materias se presentan en el siguiente listado:

- Fundamentos de las Disciplinas Nucleares I
- Fundamentos de las Disciplinas Nucleares II
- Protección Radiológica y Seguridad Nuclear
- Detección y Medición de las Radiaciones I
- Detección y Medición de las Radiaciones II (*incluye Seminario de Espectrometría Gamma*)

- Reactores Nucleares y Aceleradores de Partículas
- Operaciones Radioquímicas y Producción de Radioisótopos (*incluye Seminario de Separaciones Radioquímicas*)
  - Técnicas Analíticas Nucleares y Relacionadas
  - Sistemas de Gestión en Aplicaciones Nucleares
- Aplicaciones Tecnológicas de los Radioisótopos y las Radiaciones
  - Radiofarmacia y Aplicaciones Médicas
  - Ciclo de Combustible Nuclear

Parte de dos asignaturas de la carrera son comunes a la ERAN y la ERNCC. Ellas son Protección Radiológica y Seguridad Nuclear, y Ciclo de Combustible Nuclear. De acuerdo a las posibilidades que surjan en cada ciclo académico, puede organizarse su dictado en conjunto, en forma parcial, para ambos posgrados. Esta inclusión es pertinente por la afinidad temática de las carreras y permite un intercambio enriquecedor entre alumnos de diferentes orientaciones dentro de la tecnología nuclear.

La planificación de las actividades académicas de la carrera incluye la posibilidad de realizar consultas específicas sobre los contenidos a los docentes de las asignaturas fuera del horario de clase. Además, se prevé trabajo docente destinado al seguimiento de la actividad de los alumnos, particularmente durante la realización de los seminarios.

Los seminarios de integración representan una serie de instancias de estudio de problemas relevantes para la formación profesional, impartidos principalmente en la segunda mitad del año académico cuando el alumno dispone de elementos básicos para su comprensión y análisis. Se trata en general de un trabajo realizado en pequeños grupos, abordando temas relevantes y vinculados con los proyectos de aplicaciones nucleares y técnicas radioquímicas. Los temas a tratar y el número de integrantes de cada grupo se definen específicamente en cada cohorte.

Debe tenerse en cuenta que más allá de la teoría básica de cada una de las asignaturas, la cual se trata de acuerdo con textos clásicos, la variedad de tareas que puede abordar un profesional radioquímico y las numerosas aplicaciones de los radioisótopos y las radiaciones que se pueden encontrar traen asociada una vasta bibliografía específica. El criterio general que ha orientado la selección de los temas y su abordaje por cada uno de los responsables de las asignaturas ha sido el de priorizar, en los casos en los que se requiere especificidad, las líneas de trabajo asociadas con las actividades locales. Esto conlleva también a la actualización permanente de contenidos, basadas en la actividad profesional real de los grupos de trabajo locales y líneas de tareas vigentes. Un ejemplo claro de la aplicación de este criterio lo constituye la asignatura “Reactores Nucleares y Aceleradores de Partículas” en la cual se ahonda en las características de las centrales nucleares argentinas y los aceleradores de partículas con las características de los que se encuentran en nuestro país. Esto no excluye el estudio de las características de instalaciones de otro tipo, pero necesariamente con menor profundidad.

La dirección de la carrera y los profesores responsables de las asignaturas acuerdan la forma de evaluación, dados los objetivos de la formación profesional. Los alumnos deben cumplir un porcentaje mínimo de asistencia, aprobar trabajos de laboratorio demostrando conocer las normas básicas de protección radiológica requeridas para el manejo de sustancias radiactivas en laboratorio, y exámenes parciales o finales, según el caso, existiendo siempre una instancia de recuperación.

Los alumnos deben realizar un trabajo final como último paso de la carrera. Este trabajo se realiza en el ámbito nuclear, ya sea en la CNEA o en alguna de las empresas o instituciones del sector. Se trata de profundizar intensivamente en alguno de los temas cubiertos por la currícula o muy vinculados a ella, y se realizan bajo la supervisión de un investigador o tecnólogo con amplia experiencia en el tema de su incumbencia, y partícipes de proyectos importantes en alguna de las ramas de la tecnología nuclear. El alumno debe mostrar que es capaz de realizar el análisis de un tema específico consultando la bibliografía pertinente, reuniendo los antecedentes del caso e integrando adecuadamente la información experimental obtenida, con expresión de conclusiones del análisis claras y valederas, demostrando las habilidades adquiridas durante el tiempo de cursada. La aprobación de la presentación escrita del trabajo final y de su exposición en defensa oral y pública ante un jurado evaluador especialmente designado para tal fin es condición necesaria para la obtención del título de Especialista.

Interesa señalar que no existe una oferta de posgrado equivalente a nivel nacional y que la participación de las dos instituciones que conforman el Instituto de Tecnología Nuclear Dan Beninson garantiza la calidad académica y la disponibilidad de laboratorios, instalaciones y equipamiento que difícilmente es accesible a los alumnos en otro ámbito.

Es importante mencionar que la ERAN ha sido reconocida por la Autoridad Regulatoria Nuclear como formación teórico-práctica necesaria para tramitar Permisos Individuales correspondientes a Investigación e Investigación y Docencia [1].

La carrera ha sido acreditada en el año 2012 por la Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria, y re-acreditada y categorizada en el año 2016, con la categoría "A", máxima calificación que indica calidad excelente [2].

### **3. EXPERIENCIA ADQUIRIDA**

En estos casi 10 años de actividad académica, la ERAN ha logrado consolidar su propuesta, fortaleciendo los principios directores de su intención académica, y aprovechando al máximo las lecciones aprendidas en la experiencia didáctica cotidiana. El reto a afrontar es la consecución de las metas propuestas, en un contexto de circunstancias y condiciones concretas vinculadas al marco académico, las características de los estudiantes y docentes, y la responsabilidad asumida. El análisis de las particularidades de esta actividad ha permitido reconocer y potenciar el conjunto de situaciones que se presentan, promoviendo la toma de decisiones para la mejora del proceso de transmisión del conocimiento y la organización del escenario de actividades.

Desde sus comienzos la ERAN ha recibido alumnos tanto nacionales como extranjeros. Si bien el número de participantes en cada cohorte no ha sido elevado, se ha mantenido con un mínimo estable y en los últimos años se ha percibido un incremento, originado en la necesidad y voluntad de capacitación de jóvenes profesionales que ya formaban parte del sistema nuclear al momento de su incorporación al alumnado.

La posibilidad de recibir capacitación en el mismo lugar de trabajo, con la chance de adaptar horarios y vincular temas laborales a temas de estudio se presenta como una propuesta interesante para aquellos profesionales que perciben como conveniente el hecho de

profundizar sus conocimientos, teniendo a la vez la posibilidad de progreso académico con la obtención de un título de posgrado. Por esta razón, la mayor parte de los inscriptos en las últimas cohortes provienen de distintos grupos de trabajo del Centro Atómico Ezeiza y Centro Atómico Constituyentes.

Es conocido el programa de formación en temas científicos y tecnológicos llevado adelante por CNEA, para lo cual ofrece el otorgamiento de distintos tipos de becas a argentinos residentes en el país que las soliciten y reúnan las condiciones del respectivo reglamento. Con el objetivo de facilitar la etapa de formación profesional y especialización de los alumnos regulares de sus institutos de enseñanza, la CNEA otorga becas de estudio de dedicación exclusiva, con un estipendio mensual para cubrir gastos de mantenimiento durante el cursado de la carrera y el valor de la matrícula. Existe además, para aquellos alumnos que culminen sus estudios en tiempo y forma habiendo demostrado un muy buen desempeño académico, la posibilidad de recibir una beca de continuidad de un año adicional, para perfeccionamiento en alguno de los proyectos de trabajo o líneas de investigación en curso. Si bien varios alumnos han recibido becas de estudio, particularmente aquellos provenientes del interior del país, el número de alumnos incorporados a través de este sistema no ha sido tan elevado como se esperaba, pero se estima que irá incrementándose en los próximos ciclos lectivos. La mayoría de los estudiantes que han recibido beca de estudio, han accedido a la beca de continuidad.

Es de resaltar el elevado número de alumnos provenientes de países latinoamericanos. Ya sea por propia iniciativa o por gestión de sus respectivos gobiernos e instituciones, varios alumnos provenientes de Costa Rica, Ecuador, Colombia y Brasil han pasado por las aulas del IDB y han recibido sus títulos de Especialistas, y aún hoy se mantienen vinculados a instituciones ligadas a la actividad nuclear luego del regreso a sus países de origen. Y al momento ya hay gestiones realizadas para la incorporación de más estudiantes extranjeros para el próximo ciclo lectivo, lo cual expresa una posición privilegiada de nuestro país en cuanto a la posibilidad de brindar esta formación a estudiantes de otros países, manifestándose la ERAN como una labor académica de interés regional.

Dada la variedad que se presenta en el modo de incorporación, su origen y su formación de base, los grupos de alumnos suelen ser heterogéneos. A esto se suma el hecho que el lugar de emplazamiento del IDB, bajo el marco de un centro de actividades científico-tecnológicas como es el Centro Atómico Ezeiza, produce situaciones diferentes a las encontradas en un ámbito académico convencional. Esto representa simultáneamente un desafío a la hora de compatibilizar las actividades de alumnos y docentes con la tareas habituales que se realizan en el lugar, y una fortaleza, pensando en las notables ventajas frente a la situación de otros centros de estudios, dada la privilegiada posibilidad de contar con laboratorios de envergadura e instalaciones relevantes que no son fácilmente accesibles en ámbitos académicos convencionales.

#### **4. CONCLUSIONES**

La tarea de formar recursos humanos de alta especialización necesarios para la actividad nuclear, de la cual la Radioquímica y sus aplicaciones son una parte fundamental, es insoslayable. Tal como se desprende de la reseña expuesta, la actividad académica llevada a cabo por el IDB en la ERAN es de fundamental importancia para el avance de esta disciplina con alta demanda profesional calificada. El marco académico en el que se desarrolla la

ERAN ha permitido optimizar la estructura de gestión de la carrera manteniendo la calidad de la oferta académica que descansa fuertemente en la experiencia acumulada en CNEA, permitiendo la formación de profesionales que, como queda dicho, son necesarios para satisfacer los requerimientos de una disciplina que vive una etapa de fortalecimiento y progreso constante. La continuidad de esta actividad logrará asegurar el futuro de la actividad con la idoneidad que se requiere, redundando en la expansión de sus beneficios para la sociedad de nuestro país y de otros países también.

Por último, tanto la calidad del cuerpo docente, formado por destacados profesionales del sistema nuclear en actividad, como el acceso a laboratorios e instalaciones de alta complejidad de dos centros atómicos y otras instituciones, hacen a esta carrera única en el mundo académico de Latinoamérica.

## **5. REFERENCIAS**

[1] Autoridad Regulatoria Nuclear. Resolución 398/13. B.O.R.A. 11/10/13.

[2] Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria. Resolución 97/16.