

Proyecciones

Publicación de Postgrado e Investigación de la Facultad Regional Buenos Aires

Argentina - Año 3 N°1 - Abril 2005



Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Buenos Aires

Proyecciones

Autoridades:

Universidad Tecnológica Nacional

Rector

Ing. Héctor Carlos Brotto

Vice-Rector

Ing. Carlos E. Fantini

Facultad Regional Buenos Aires

Decano

Arq. Luis Ángel De Marco



Proyecciones

Volumen 3

Número 1

Abril, 2005

Publicación de la Facultad Regional Buenos Aires

Director

Dr. Isaac Marcos Cohen

Comité Editorial

Lic. Miguel Languasco

Dr. Isaac Marcos Cohen

Propietario

Facultad Regional Buenos Aires,

Medrano 951, (C1179AAQ)

Buenos Aires, República Argentina

ISSN: 1667-8400

Registro de Propiedad
Intelectual: No. 334634

✱ Universidad Tecnológica Nacional

El Comité Editorial desea agradecer la
colaboración prestada por la
Ing. Marisa Arrondo en la revisión
del presente número.

Índice

5 **Presentación**

Sr. Decano de la Facultad Regional Buenos Aires,
Arq. Luis A. De Marco

7 **Editorial**

Sr. Secretario Académico de la Facultad Regional Buenos Aires,
Ing. Ricardo Bosco

Contribuciones

9 **Gestión de la calidad en el desmantelamiento de instalaciones nucleares**

O. H. Garonis

21 **Optimización y validación del método para la determinación de actínidos en muestras ambientales y biológicas**

M. L. Cerchietti, M. G. Argüelles

37 **La caracterización del espectro neutrónico en un reactor nuclear y la determinación de datos nucleares**

M. A. Arribére, I. M. Cohen, A. J. Kestelman, S. Ribeiro Guevara, M. Arrondo, M. C. Fornaciari Iljadica

49 **Uso de internet para diseño y desarrollo de tecnologías cognitivas**

E. Gamondés, A. Bugallo, I. Casanovas, M. L. Jover, F. Nápoli, S. Trentalance, M. P. Verde Rey

63 **Instrucciones para la Presentación de Artículos**

Presentación

La evolución del conocimiento, en el marco de las llamadas ciencias duras, muestra una paradoja interesante.

Los datos históricos nos hablan acerca de la existencia, hasta fines del siglo XIX, de grandes figuras capaces de generar descubrimientos e innovaciones en múltiples campos de desarrollo y de descollar en cada uno de ellos.

El siglo pasado se caracterizó en sus inicios por la concentración del conocimiento; el saber general cedía la preeminencia en favor de la especialización y la carrera exitosa parecía inevitablemente ligada al logro de ese nivel. Pero luego aparecieron los nuevos campos, que mostraban la necesidad de integración de vertientes aparentemente disímiles. En la actualidad nos referimos a disciplinas tales como bioquímica, geofísica, biotecnología, arqueometría, física médica, ingeniería de física médica, por citar sólo unos pocos ejemplos, donde la convergencia de conocimientos es una necesidad inherente al propio desarrollo. Consecuentemente, la ampliación del panorama individual del profesional es también un requerimiento ineludible.

La Facultad Regional Buenos Aires entendió correctamente el reclamo de los tiempos, suministrando respuestas a través de una amplia oferta de posgrados y de la apertura de nuevos campos de investigación.

Es posible apreciar, al iniciarse el tercer año de vida de *Proyecciones*, su variedad temática, renovada en cada número. Con mucha satisfacción presento esta edición, confiando en que podamos seguir brindando, como hasta ahora, contribuciones de alto nivel que satisfagan las expectativas de nuestros lectores.

Arq. Luis Ángel De Marco

Decano

Editorial

Desde el primer número de Proyecciones son muchas las personas que trabajan con esfuerzo convencidas de la importancia de consolidar esta publicación de posgrado, como un medio académico de alto nivel de calidad por su contenido de investigación.

Hoy, ya en el tercer año, podemos decir con gran satisfacción que con el permanente aporte de investigadores y profesionales, día a día se renuevan las ganas que le dieron vida, para seguir impulsándolo hacia un camino de crecimiento.

Para esta edición el Comité Editorial ha seleccionado cuatro trabajos. El primero, denominado *Gestión de la Calidad en el Desmantelamiento de Instalaciones Nucleares* lleva la firma de O.H. Garonis y establece una normalización, a través de un Documento de Especificación de Requisitos, para los sistemas de gestión de las organizaciones que desempeñan ese tipo de tareas.

El siguiente está realizado por M.L. Cerchietti y M.G. Argüelles, y se titula *Optimización y validación del método para la determinación de actínidos en muestras ambientales y biológicas*.

M.A. Arribére, I.M. Cohen, A.J. Kestelman, S. Ribeiro Guevara, M. Arrondo y M.C. Fornaciari Iljadica describen las experiencias realizadas en el Centro Atómico Bariloche en un documento titulado *La caracterización del espectro neutrónico en un reactor nuclear y la determinación de datos nucleares*.

El último, denominado *Uso de internet para diseño y desarrollo de tecnologías cognitivas*, con la firma de E. Gamondés, A Bugallo, I. Casanovas, M. L. Jover, F. Nápoli, S. Trentalance y M. P. Verde Rey, sintetiza la última etapa del proyecto de investigación surgido de experiencias en el aula en Ingeniería y Sociedad, en el Departamento de Sistemas de Información.

El rigor del material presentado y las reiteradas muestras de interés demostradas por los lectores ponen de manifiesto, una vez más, la responsabilidad y el compromiso de continuar en la senda marcada con la participación de todos.

Hasta nuestro próximo número,

Ing. Ricardo Bosco
Secretario Académico

Gestión de la calidad en el desmantelamiento de instalaciones nucleares ¹

O. H. Garonis

Comisión Nacional de Energía Atómica, Centro Atómico Constituyentes.

Avda. General Paz 1499, San Martín, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Dirección de Estudios de Posgrado, Avenida Medrano 951, (C1171AAQ), Buenos Aires, Argentina

E-mail: garonis@cnea.gov.ar

Resumen

Internacionalmente, las organizaciones que realizan el desmantelamiento de instalaciones nucleares, cumplen con los requisitos de seguridad establecidos por los cuerpos regulatorios y, algunas de ellas, realizan sus actividades bajo un sistema de aseguramiento de la calidad.

Este trabajo establece una normalización, a través de un Documento de Especificación de Requisitos, para los sistemas de gestión de las organizaciones que realizan el desmantelamiento de instalaciones nucleares integrando y compatibilizando aspectos de los sistemas de gestión de la calidad, ambiental, de seguridad y salud ocupacional, y todos los requerimientos de la industria nuclear recomendados por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

Abstract

Internationally, the decommissioning organizations of nuclear facilities carry out the decommissioning according to the safety requirements established by the regulatory bodies. Some of them perform their activities in compliance with a quality assurance system.

This work establishes a standardization, through a Document of Requirement Specifications, for the management system of the nuclear facilities decommissioning organizations. It integrates some aspects of the quality, environmental, occupational safety and health management systems, and also makes these aspects compatible with all the requirements of the nuclear industry recommended for the International Atomic Energy Agency (IAEA).

¹ Trabajo realizado sobre la base de la tesis presentada por el autor para optar al grado de Magister en Gestión de la Calidad, bajo la dirección de T. Palacios y R. Corcuera.

Introducción

El objetivo de este trabajo es elaborar un Documento de Especificación de Requisitos (DER) para la implementación de un Sistema de Gestión Integral (ISO 9001: 2000, ISO 14001: 1996, IRAM 3800: 1998, el código de OIEA 50 C/ SG-Q y la guía de seguridad Q-14), y generar la documentación de dicho sistema de gestión requerida en el DER para ser aplicada en organizaciones responsables de realizar desmantelamientos de instalaciones nucleares.

Las instalaciones nucleares en general, y en particular los reactores y las centrales nucleares, son diseñados, construidos, puestos en marcha, operados, clausurados, y desmantelados en el transcurso de su existencia. Al finalizar su vida útil, deben ser clausurados y desmantelados para dejar el sitio de su emplazamiento en condiciones de uso sin restricciones. Estas actividades requieren realizarse de modo de garantizar la seguridad de los trabajadores y de la comunidad, y la integridad del medio ambiente en el área de influencia.

En la Argentina existen muy pocos antecedentes de documentación referida al desmantelamiento de instalaciones nucleares, en primer lugar porque muy pocas instalaciones en la actualidad llegaron a la finalización de su vida útil y en segundo lugar porque en relación con las que fueron desmanteladas, si bien se siguió una planificación y las operaciones fueron realizadas de acuerdo a procedimientos específicos, éstas no se llevaron a cabo bajo un sistema de gestión de la calidad que hubiera permitido contar con los registros y los informes necesarios para agilizar los conocimientos de los que en la actualidad se encuentran estudiando las actividades de los procesos de esta naturaleza.

Un estudio realizado sobre la temática de gestión de la calidad en el desmantelamiento de instalaciones nucleares en el mundo (fueron visitados el Argonne National Laboratory de los Estados Unidos de Norteamérica, la empresa Enresa de España y el Centro de Estudios Nucleares SCK CEN de Bélgica, y se analizaron casos tales como los de Alemania, Italia, Inglaterra y Rusia), evidenció la inexistencia de un documento de especificación de requisitos de un sistema de gestión integral (SGI) que incluya requerimientos de gestión de la calidad, ambiental, de seguridad y salud ocupacional, en conjunto con los estándares de calidad de la industria nuclear. Si bien es cierto que todas las organizaciones siguen lineamientos que cubren los aspectos de gestión mencionados, los mismos no se encuentran normalizados en un documento único integrado y con la terminología compatibilizada adecuadamente.

Consecuentemente a ese análisis internacional, se propone en este trabajo realizar los desmantelamientos de las instalaciones nucleares con la aplicación de un sistema de gestión, partiendo de la base de hacerlo con los criterios de la gestión de la calidad. Se entiende por calidad cumplir con los requisitos de los clientes, ya sean los preestablecidos como también los implícitos que se originan a partir de sus expectativas.

Desarrollo

En búsqueda de los objetivos mencionados en la introducción, fue necesario en primer lugar analizar e identificar a los clientes del servicio de desmantelamiento de una instalación nuclear, que resultaron ser tres sectores totalmente diferentes:

- El propietario (instalación privada) o responsable (instalación del Estado) de la instalación
- El organismo regulatorio
- La sociedad en su conjunto (actual y futura)

Posteriormente fue necesario conocer cuáles eran las expectativas o los requisitos implícitos que éstos esperan del desmantelamiento de una instalación nuclear y se determinó que sus expectativas, en general, eran:

- Realizar el desmantelamiento en forma planificada, segura y ordenada
- Cuidar la seguridad de los trabajadores
- Proteger al medio ambiente
- Asegurar los bienes y la vida de la sociedad en su conjunto

Conocidas estas premisas, el razonamiento desarrollado para determinar cuáles deberían ser los aspectos a integrar en el sistema de gestión fue el que se muestra en la Figura 1, que se explica a continuación. Se planteó el problema y la necesidad de realizar un sistema de gestión de la calidad; en consecuencia, se buscaba hacer calidad en el desmantelamiento de instalaciones nucleares.

Para realizar calidad en cualquier orden es necesario tener un objetivo claro, que en este caso era realizar el desmantelamiento con la más alta calidad. En función de ese objetivo se debían prefiar los requisitos pertinentes.

Cuando se planteó la necesidad de establecer requisitos, se generó la pregunta acerca de los criterios aplicables. Es allí donde se decidió utilizar los criterios de gestión integral, incorporando al sistema de gestión los aspectos ambientales, de seguridad y salud ocupacional y los de la industria nuclear, dados por los documentos del Organismo Internacional de Energía Atómica.

Una vez definidos los criterios a desarrollar, la lógica implicaba que se deberían dejar plasmados en un documento, de manera tal que este documento pudiera usarse como referencia internacional para la realización del desmantelamiento de instalaciones nucleares en toda organización preestablecida para tal fin. Por lo tanto se decidió especificar los requisitos en un documento que fue denominado Documento de Especificación de Requisitos (DER).

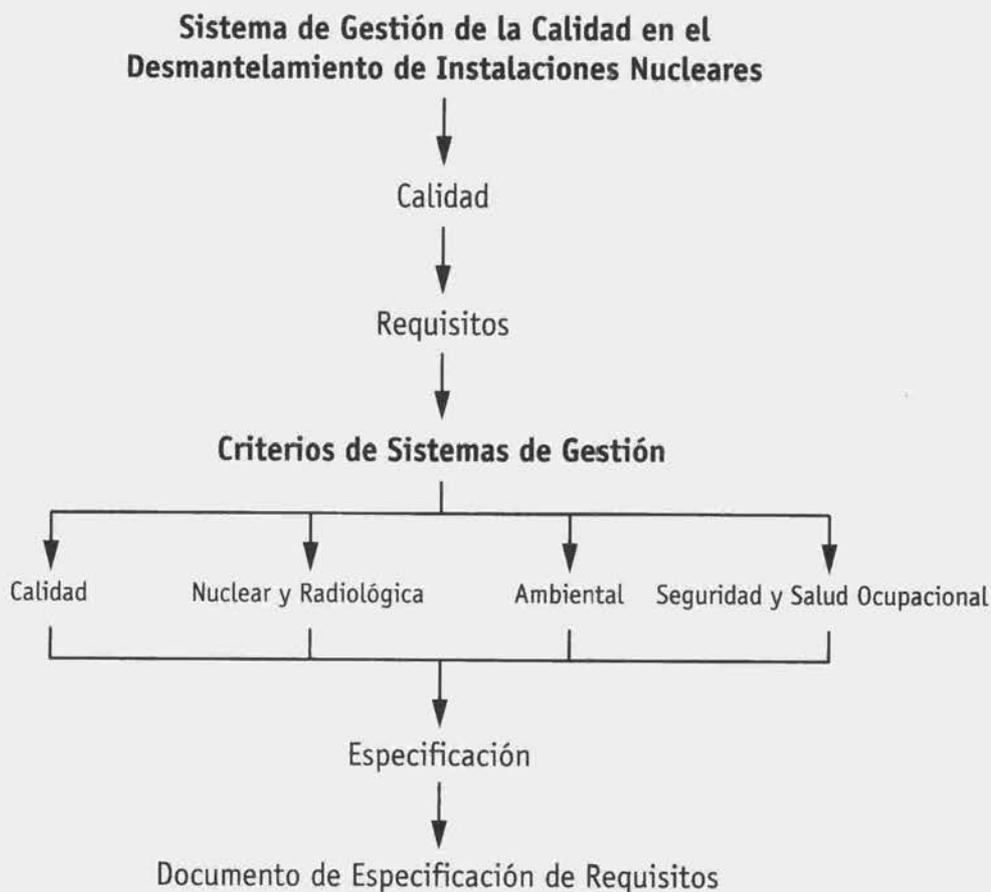


Figura 1: Esquema de razonamiento utilizado para el desarrollo del trabajo.

Siguiendo el mencionado razonamiento de trabajo se planteó el objetivo general para establecer los criterios y requisitos necesarios en relación con la implementación de un sistema de gestión integral en las organizaciones de desmantelamiento de instalaciones nucleares. A partir de ese objetivo se fijaron las metas propuestas:

1. Generar un Documento de Especificación de Requisitos (DER) para la implementación de un sistema de gestión integral
2. Elaborar la documentación general del sistema de gestión en una organización de desmantelamiento de instalaciones nucleares.

La primera parte de la secuencia de actividades fue la definición de los criterios del sistema de gestión. Posteriormente se llevó a cabo:

- Un análisis de las normativas existentes dentro del campo regulado en diversos países, así como también las normas de la temática en el campo voluntario
- La selección de las normas de gestión que se utilizarían para la elaboración del DER
- La generación del Documento de Especificación de Requisitos (DER) necesario como referencia a la hora de la implementación de un sistema de gestión en una organización cuya misión es ejecutar el desmantelamiento de instalaciones nucleares
- La elaboración de la documentación del sistema de gestión integral.

En el análisis se estudiaron normas tales como las regulatorias del Departamento de Energía (DOE) de los EEUU, las propias de la Autoridad Regulatoria Nuclear de Argentina, las del Organismo de Gestión de Residuos Radiactivos de Bélgica (NIRAS/ ONDRAF) y el Cuerpo Regulatorio del Reino de Bélgica y también las del campo voluntario, entre ellas las normas internacionales de ISO (9001 del año 2000, 14001), Occupational Safety and Health Act Specification OSHAS 18001, IRAM 3800, además de una norma canadiense de Canadian Standard Association (CSA) que especifica requisitos para la implementación de un sistema de aseguramiento de la calidad en el desmantelamiento de instalaciones nucleares.

La selección de las normas a aplicar en el sistema de gestión integral se basó en utilizar normas de gestión que en lo posible siguieran el ciclo de Demming (planear, hacer, verificar y actuar) y consecuentemente contemplaran en sus requisitos una filosofía de mejora continua, como se siguen en:

- ISO 9001:2000, Sistema de gestión de calidad
- ISO 14001:1996, Sistema de gestión ambiental
- IRAM 3800:1998, Sistema de seguridad y salud ocupacional
- 50 SG/C-Q:1996, Aseguramiento de la calidad para instalaciones nucleares
- 50 SG/C-Q -14:1996, Aseguramiento de la calidad en el desmantelamiento de instalaciones nucleares.

Además, todas estas normas son muy modernas y vigentes en la actualidad; las normas internacionales ISO 9001 e ISO 14001 son las de mayor difusión en el mundo.

Establecidos los criterios de gestión y seleccionadas las normas a seguir como lineamientos del sistema de gestión integral, se procedió a la generación de una Matriz de Integración de Requisitos (MIR) de la cual se muestran, en la Tabla 1, los títulos de los principales capítulos y un ejemplo de la compatibilización de un requisito. Tal matriz sirvió como herramienta para el estudio, análisis, integración y compatibilización de todas las normas en cuestión para definir los requisitos que han de ser implementados en las organizaciones responsables de efectuar el desmantelamiento de instalaciones nucleares.

Tabla 1. Muestra de la compatibilización de las normas para el capítulo de gestión de la calidad.

Ítem	Título / Requisito	ISO 9001	ISO 14001	IRAM 3800	50-C/SG-Q	50-C/SG-Q ₁₄
1	Sistema de gestión de la calidad, ambiental y de seguridad y salud ocupacional	4	4	4	2	2
1.1	Requisitos generales					
	La organización debe establecer, documentar, implementar, mantener y mejorar continuamente la eficacia de un sistema de gestión de la calidad, ambiental y de seguridad y salud ocupacional de acuerdo con los requisitos de este documento.	4.1	4.1	4.0	201	201
	La organización debe:					
	a) identificar los procesos necesarios para el sistema de gestión y su aplicación a través de la organización;					202
	b) determinar la secuencia e interacción de estos procesos;					203
	c) determinar los criterios y métodos necesarios para asegurar que tanto la operación como el control de estos procesos son eficaces;	4.1	4.3.1	4.3.1	201	203
	d) asegurar la disponibilidad de recursos e información necesarios para apoyar la operación y el seguimiento de estos procesos;					204
	e) medir, realizar el seguimiento y analizar estos procesos;					
	f) implementar las acciones necesarias para alcanzar los resultados planificados y la mejora continua de estos procesos.					
	El sistema de gestión debe demostrar la integración de los siguientes tres principios:					
	a) la dirección proporciona la planificación, enfoque, recursos y apoyo para alcanzar los objetivos de la organización;			4.3.1	203	204
	b) el personal técnico trabaja para lograr la calidad adecuada;					
	c) el personal de seguimiento evalúa la eficacia de los procesos de gestión y la realización del trabajo.					
	La organización debe gestionar los procesos de acuerdo con los requisitos de este documento y debe ser de consideración fundamental la seguridad nuclear.					
	En los casos en que la organización elija contratar externamente cualquier proceso que afecte la conformidad del servicio con los requisitos, la organización debe asegurar el control sobre tales procesos.	4.1	4.1		204	206
	El control de dichos procesos contratados externamente debe identificarse en el sistema de gestión.					

	Requisitos de la documentación					
	Generalidades					
	La documentación del sistema de gestión debe incluir:					
	a) declaraciones documentadas de una política de la calidad, ambiental y de seguridad y salud ocupacional y de los objetivos del sistema de gestión;					
	b) un manual que contenga las políticas de gestión de la calidad, ambiental y de seguridad y salud ocupacional;					
	c) los procedimientos documentados, estipulando criterios operativos, necesarios para cubrir situaciones en las que su ausencia podría conducir a desviaciones de las políticas y los objetivos;	4.2	4.4.4			205
1.2				4.4.4	209	
	d) los documentos requeridos por la organización para la planificación, operación y control eficaz de sus procesos;	4.2.1	4.4.6			337
	e) los registros requeridos por este documento.					
	Sobre la finalización del desmantelamiento o sobre la finalización de una fase del desmantelamiento donde habrá una espera considerable antes del comienzo de la siguiente fase, la organización responsable debe realizar un informe de desmantelamiento final.					
	Manual del sistema de gestión					
	La organización debe establecer y mantener un manual de gestión que incluya lo siguiente:					
	a) el alcance del sistema de gestión, incluyendo los detalles y la justificación de cualquier exclusión;			4.4.4		
	b) los procedimientos documentados establecidos para el sistema de gestión integral, o una referencia a los mismos;	4.2.2	4.3.4		201	201
	c) una descripción de la interacción entre los procesos del sistema de gestión integral;			4.4.6		
	d) la designación de la responsabilidad por el logro de los objetivos y las metas de cada función y nivel pertinentes de la organización;					
	e) los medios y los plazos para que los objetivos sean logrados.					
	Control de los documentos					
	Los documentos requeridos por el sistema de gestión integral deben controlarse.					
	Los documentos tales como procedimientos, instrucciones, especificaciones y planos, u otros que describen procesos, especifican requisitos deben ser preparados, verificados, revisados, aprobados y distribuidos.					
	Debe establecerse un procedimiento documentado que defina los controles necesarios para:					
1.3	a) aprobar los documentos en cuanto a su adecuación antes de su edición;				209	221
	b) revisar y actualizar los documentos cuando sea necesario así como para llevar a cabo su reaprobación;					
	c) asegurar que se identifiquen los cambios y el estado de revisión actual de los documentos;	4.2.3	4.4.5	4.4.5	205	222
	d) asegurar que las versiones pertinentes de los documentos aplicables se encuentran disponibles en los puntos de uso;					
	e) asegurar que los documentos permanecen legibles y son fácilmente identificables;					

- f) asegurar que se identifican los documentos de origen externo y que se controla su distribución;
- g) evitar el uso no intencionado de documentos obsoletos, y para aplicarles una identificación adecuada en el caso de que se mantengan por alguna razón cualquiera;
- h) asegurar que la documentación esta disponible y en un lenguaje apropiado para los usuarios.

Todos los documentos mencionados en el plan de desmantelamiento deben ser codificados dentro del plan con una identificación del estado de emisión.

Ellos deben ser considerados como controlados dentro del sistema de gestión.

Cualquier alteración y modificación a los documentos que se mencionan en el plan deben ser controladas y aprobadas de la misma forma que el documento original.

Control de los registros

Deben establecerse y mantenerse registros para proporcionar evidencia de la conformidad con los requisitos así como de la operación eficaz del sistema de gestión integral.

Los registros deben permanecer legibles, fácilmente identificables y recuperables.

Debe establecerse un **procedimiento documentado** para definir los controles necesarios para la identificación, codificación, recolección, archivo, almacenamiento, protección, recuperación, tiempo de retención y disposición de los registros

208

223

1.4

4.2.4 4.5.3 4.5.3 210

El proceso de desmantelamiento podría continuar por décadas. A lo largo de este extendido período el sistema de gestión debe continuar para asegurar que los registros son mantenidos adecuadamente y transferidos si los responsables de la organización cambian entre las distintas fases.

224

225

Los registros requeridos generados durante el desmantelamiento se documentan en el procedimiento correspondiente.

Revisión de la situación inicial

La organización debe llevar adelante una revisión inicial de sus condiciones y disposiciones existentes para la gestión de seguridad y salud ocupacional. La revisión debe comparar las condiciones y disposiciones existentes en la organización con:

- a) los requisitos de la legislación vigente sobre seguridad radiológica, industrial y de la salud ocupacional;
- b) las guías existentes de gestión de seguridad radiológica e industrial y salud ocupacional disponibles dentro de la organización;
- c) la mejor práctica y desempeño en el sector de empleos de la organización y de otros sectores apropiados (por ejemplo tomados de comités consultivos de seguridad radiológica, industrial y de la salud ocupacional y guías de asociaciones nucleares);
- d) la eficacia de los recursos existentes dedicados a la gestión de seguridad radiológica, industrial y de la salud ocupacional.

4.1

214

1.5

Los componentes de la instalación y los sistemas deben ser formalmente transferidos desde la organización de operación a la de desmantelamiento.

Esta transferencia debe asegurar que:

- Las no conformidades y otros registros abiertos han sido identificados y documentados
- La documentación de operación esta completa
- Las condiciones de la instalación están definidas

Esa matriz está compuesta por la totalidad de los requisitos de las cinco normas, iniciándose como punto de partida la descripción de los requisitos de la norma ISO 9001: 2000, por ser la más moderna de las cinco y la de mayor difusión entre las diversas industrias de todo el mundo. Posteriormente se realizó la integración y compatibilización de las normas ISO 14001 e IRAM 3800 respectivamente, de estructuras bastante similares a ISO 9001, para luego sí integrar las normas de OIEA, cuyas diferencias en cuestiones de terminología y en algunos casos conceptuales son considerables.

Resultados y Discusión

Una vez completada la integración y compatibilización de los criterios y requisitos en la matriz MIR, se concluye en la segunda columna de la matriz con el Documento de Especificación de Requisitos (DER) necesarios para la aplicación del sistema de gestión integral en la organización de desmantelamiento.

A continuación se describe una síntesis del contenido del DER, para que se pueda apreciar el enfoque de los criterios compatibilizados de las normas aplicadas:

1. Sistema de Gestión Integral. Este capítulo se divide en dos títulos:

- **Requisitos generales:** se requiere que la organización establezca, implemente y mantenga un sistema de gestión integral que contemple los aspectos de calidad ambiental, seguridad y salud ocupacional y los requerimientos de la industria nuclear.

- **Requisitos de la documentación:** se subdivide en cuatro puntos. El primero establece requisitos generales sobre la documentación. El segundo establece que la organización debe poseer un manual de gestión integral que fije las políticas, los objetivos y las metas, y defina las responsabilidades y funciones de todos los miembros de la organización; el tercero, que la organización tenga un procedimiento documentado para realizar el proceso de control de documentos. Finalmente, el cuarto exige que la organización cuente con un procedimiento documentado para el control de todos sus registros.

Revisión de la situación inicial: requiere que la organización en su planificación realice una revisión de la situación inicial en las instalaciones a desmantelar en cuanto a los aspectos de seguridad y salud ocupacional.

2. Responsabilidad de la Dirección. Este capítulo contiene seis puntos:

- **Compromiso de la dirección:** se exige que la dirección de la organización se comprometa con el sistema de gestión y la provisión de los recursos necesarios para su implementación eficaz.

- **Enfoque al cliente:** se requiere a la dirección de la organización de desmantelamiento que sus actividades tengan un claro enfoque en los clientes.

- **Política integral:** se exige que la dirección fije una política de gestión integral y que la misma sea difundida y conocida por todos los trabajadores de la organización.

- **Planificación:** la dirección debe planificar el sistema de gestión y fijar los objetivos y metas periódicamente.

- **Responsabilidad, autoridad y comunicación:** contempla tres aspectos. Primero, definir claramente las responsabilidades y autoridades de la organización. Segundo, designar un representante de la dirección para informar sobre el estado del sistema de gestión; y tercero, implantar un sistema eficaz de comunicación interna.

- **Revisión por la dirección:** se exige a la dirección revisar periódicamente el sistema de gestión integral, teniendo en cuenta aspectos como las no conformidades, las auditorías anteriores, etc.

3. Gestión de los Recursos

- **Suministros de recursos:** se requiere que se determinen y se proporcionen los recursos necesarios para el sistema de gestión y las actividades principales del desmantelamiento.

- **Recursos humanos:** se especifica que la organización tenga el personal suficiente y con la formación, la concientización y la competencia necesarias para llevar a cabo sus actividades.

- **Infraestructura:** se requiere que la organización de desmantelamiento tenga la infraestructura necesaria para realizar las actividades de desmantelamiento.

- **Ambiente de trabajo:** requiere tener en cuenta las condiciones de trabajo del personal, aspectos ergonómicos y un ambiente de trabajo adecuado.

4. Realización del Desmantelamiento. Este capítulo del DER contiene nueve puntos:

- **Planificación de desmantelamiento:** requiere que todas las actividades sean planificadas antes de ejecutarse y sean revisadas y aprobadas por personal autorizado y por personal de seguridad.

- **Procesos relacionados con el cliente:** se establecen tres requerimientos: primero, determinar los requisitos relacionados con el desmantelamiento; segundo, revisar los requisitos relacionados con el desmantelamiento con el fin de verificar la capacidad de la organización de poder cumplirlos; tercero, implantar un sistema eficaz de comunicación externa.

- **Diseño y desarrollo:** el DER exige planificar el proceso de diseño y desarrollo de las técnicas de desmantelamiento, determinar los datos de partida, listar y registrar los resultados del diseño, revisar, verificar y cuando sea necesario validar las técnicas diseñadas. Por último, registrar todos los cambios que se produzcan antes, durante y después del proceso de diseño y desarrollo.

- **Compras:** requiere asegurarse que los proveedores de los productos a comprar sean evaluados y pertenezcan al registro de proveedores seleccionados, definir claramente la información de la compra y verificar que el producto comprado fue el requerido.

- **Servicio de desmantelamiento:** contempla requisitos en cinco aspectos: primero, que la organización instrumente un proceso de control de las operaciones; segundo, validar los procesos especiales que no se pueden controlar durante su realización; tercero, identificar y trazar todos los materiales derivados del desmantelamiento; cuarto, proteger de pérdidas, deterioros y daños los bienes del cliente que se podrían llegar a utilizar; quinto, preservar todos los materiales producto del desmantelamiento durante su manipuleo, embalaje, almacenamiento, transporte y disposición.

- **Control de los equipos de medición y seguimiento:** requiere que los equipos de medición contemplen las condiciones metrológicas adecuadas para su uso, que sean identificados unívocamente junto con su estado de calibración, y se registren todas las novedades para cada uno de ellos.

- **Preparación y respuestas ante emergencia:** exige que la organización tenga un procedimiento ante cualquier emergencia y un plan de respuesta ante una emergencia en la instalación a desmantelar.

- **Seguridad industrial:** establecer una política y procedimientos para prevenir acciones de riesgo y difundir a todo el personal los procedimientos de seguridad pertinentes.

- **Seguridad radiológica y nuclear:** determinar la cantidad y la naturaleza del material fisible, conocer los niveles más altos de radiación de la instalación, los peligros de criticidad existentes, el manejo de los residuos radioactivos, entre otros.

5. Medición, Análisis y Mejora. Se compone de cinco puntos:

- **Generalidades:** requiere que la organización de desmantelamiento planifique e implemente procesos de seguimiento, medición, análisis y mejora, respecto a las operaciones de desmantelamiento y al sistema de gestión.

- **Seguimiento y medición:** contiene requisitos acerca de cuatro aspectos. Primero: exige medición y seguimiento de la satisfacción de los clientes. Segundo: exige medición y seguimiento del sistema de gestión a través de las auditorías internas. Tercero: medición y seguimiento de los procesos principales y de apoyo de la organización. Cuarto, exige medición y seguimiento en las operaciones del desmantelamiento.

- **Control de no conformidades:** establece que la organización tenga una política y un procedimiento para realizar el tratamiento de las no conformidades en las operaciones del desmantelamiento, así como también de las desviaciones del sistema de gestión.

- **Análisis de datos:** requiere que la organización analice los datos relevantes de la organización registrados, para verificar los indicadores que hacen a los procesos críticos y así conocer las tendencias de los mismos.

- **Mejora:** se establecen requisitos referidos a tres aspectos: primero, la implantación de un proceso de mejora en todos los procesos de la organización; segundo, fijar políticas y tener procedimiento de acciones correctivas para evitar que las no conformidades encontradas no vuelvan a ocurrir; tercero, tener un procedimiento de ac-

ciones preventivas para encontrar potenciales fallas que pudieran ocurrir en el proceso de desmantelamiento, con el fin de evitar que sucedan.

El DER puede ser aplicable tanto para una instalación menor (un reactor de investigación), como también para una central nuclear de potencia, ya que los criterios requeridos deben ser considerados en cualquier tipo de instalación nuclear, con la salvedad de la exclusión de los requisitos que no sean aplicables, con la justificación correspondiente en el Manual de Gestión Integral, la que recaería en la responsabilidad de la autoridad regulatoria pertinente la correcta consideración y la evaluación de dicha justificación.

Ante cualquier eventualidad del cierre de una instalación nuclear, que debiera ser desmantelada rápidamente, resulta muy ventajoso contar con un documento como el DER, pensado y elaborado con el fin de dejar claramente definidos cuáles son los criterios y los requisitos para realizar en forma ordenada y cuidadosa la etapa final de la vida de una instalación nuclear. Si imprevistamente surgiera esa decisión de desmantelar una instalación nuclear, el DER sería el documento guía para la implementación de los criterios de seguridad, calidad, ambiental y salud ocupacional. Además, también el DER facilitaría las actividades de los organismos regulatorios, pudiendo utilizarlo, como lista de verificación de cumplimiento, incluyendo los requerimientos gubernamentales, para otorgar las licencias correspondientes.

El DER no sólo está pensado para la rápida implementación de un sistema de gestión integral en las organizaciones de desmantelamiento, sino que intenta incrementar las actividades de planificación y mejora continua, con el fin de disminuir los costos de operación.

Cumplidos los criterios establecidos y definidos los requisitos en el DER, se continuó con la elaboración de la documentación pertinente para el sistema de gestión integral en el DER, con el fin de ser aplicados en la organización del Subprograma de Desmantelamiento de Instalaciones Nucleares (SPDIN) de la Comisión Nacional de Energía Atómica.

Actualmente, está siendo implementado dentro de la organización del SPDIN, lo que demuestra su factibilidad de implementación y su utilidad para que los responsables de gestión de la calidad de las organizaciones de desmantelamiento de las instalaciones nucleares puedan tener la facilidad y la practicidad de contar con un documento guía de implementación de un sistema de gestión integral.

La documentación del sistema de gestión integral fue desarrollada y posteriormente aprobada por el jefe del SPDIN hasta el nivel de los procedimientos generales del sistema de gestión integral. Se compone de un manual de gestión integral y 25 procedimientos generales. [Tabla 2]

Tabla 2. Listado de documentos generales del sistema de gestión integral.

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
MC-00	Manual de Gestión de la Calidad	PO-13	Validación de procesos
PO-01	Control de los documentos	PO-14	Identificación y trazabilidad
PO-02	Control de los registros	PO-15	Preservación de materiales
PO-03	Elaboración de planes de desmantelamiento	PO-16	Equipos de medición y seguimiento
PO-04	Comunicación interna y externa	PO-17	Respuesta ante emergencias
PO-05	Revisión por la dirección	PO-18	Seguridad radiológica e industrial
PO-06	Capacitación	PO-19	Auditoría interna
PO-07	Orden y limpieza	PO-20	Control de residuos
PO-08	Cambios del personal de control	PO-21	Control de producto no conforme
PO-09	Requisitos legales	PO-22	Análisis de datos para la mejora
PO-10	Relación con los clientes	PO-23	Acciones correctivas y preventivas
PO-11	Diseño y desarrollo	PO-24	Aspectos ambientales
PO-12	Compras	PO-25	Evaluación de riesgos

Además se listaron todos los planes específicos [Tabla 3] que deberán cumplirse para cada instalación en particular a ser desmantelada, los que harán referencia a las instrucciones de trabajo respectivas para cada operación a efectuarse.

Tabla 3. Listado de planes de la calidad específicos

CÓDIGO	PLAN DE LA CALIDAD
P1PO-03	PLAN DE DESMANTELAMIENTO
P2PO-03	PLAN DE MANTENIMIENTO
P3PO-03	PLAN DE INSPECCIÓN FINAL
P4PO-03	PLAN DE RESTAURACIÓN DEL LUGAR
P1PO-06	PLAN DE CAPACITACIÓN
P1PO-07	PLAN DE ORDEN Y LIMPIEZA
P1PO-11	PLAN DE DISEÑO Y DESARROLLO
F2PO-16	PLAN DE CALIBRACIÓN DE EIME
P1PO-17	PLAN DE RESPUESTAS ANTE EMERGENCIA
P1PO-18	PLAN DE SEGURIDAD
P1PO-19	PLAN ANUAL DE AUDITORIA
P1PO-20	PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS
P1PO-22	PLAN DE MEJORA CONTINUA
P1PO-25	PLAN DE ACCIÓN DE CONTROL DE RIESGOS

Conclusiones

El estudio realizado sobre la temática de gestión de la calidad en el desmantelamiento de instalaciones nucleares en el mundo (que incluyó visitas al Argonne National Laboratory de los Estados Unidos de Norteamérica, la empresa Enresa de España, y el Centro de Estudios Nucleares SCK CEN de Bélgica, y análisis de los casos de Francia, Italia, Inglaterra y Rusia) evidenció la no existencia de un documento que especificara los requisitos de un sistema de gestión integral (SGI) y que incluyera requerimientos de gestión de la calidad, ambiental, de seguridad y salud ocupacional, conjuntamente con los estándares de calidad de la industria nuclear. Si bien es cierto que en todas las organizaciones se siguen lineamientos respecto a los aspectos de gestión mencionados, los mismos no se encuentran normalizados en un documento único integrado y con la terminología compatibilizada con los estándares internacionales.

Del estudio de las normas a aplicar resultaron como las más convenientes y adecuadas ISO 9001:2000, ISO 14001:1996, IRAM 3800:1998, el código del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) 50 C/SG-Q, y la guía de seguridad Q-14.

Para llegar a la integración y la compatibilización de los criterios, conceptos y pautas de los cinco documentos se utilizó una metodología implementada a través de una matriz de integración de requisitos, con el fin de realizarlo de la forma más segura, ordenada y concisa. De esta forma, se obtuvo en la columna de requisitos la compatibilización y la integración de los requerimientos necesarios para la implementación de un sistema de gestión integral destinado a organizaciones de desmantelamiento.

Con el objeto de validar el Documento de Especificación de Requisitos (DER) se llevó a cabo la elaboración de documentos (Manual de gestión integral y procedimientos operativos del SGI) que se desprenden de los requisitos del DER, en forma genérica para una organización de desmantelamiento y luego, por decisión de las autoridades del Subprograma de Desmantelamiento de Instalaciones Nucleares, se aprobaron dichos documentos para la implementación en el Subprograma.

Quedan algunos temas para seguir trabajando en el futuro, ya que ante la actual imposibilidad de encontrarse una instalación nacional en proceso de cierre y desmantelamiento no se han podido validar la totalidad de las políticas y los procedimientos planificados.

Se estima conveniente, bajo la aprobación de las autoridades de la Comisión Nacional de Energía Atómica, enviar al DER como propuesta de norma de gestión integral para el desmantelamiento de instalaciones nucleares a los organismos de normalización ISO y/o IRAM, y también hacer su presentación ante el Organismo Internacional de Energía Atómica, a efectos de considerar su eventual publicación en su serie de documentos técnicos.

Referencias

- ARN, Autoridad Regulatoria Nuclear, Norma AR 3.17.1 rev. 2, "Desmantelamiento de centrales nucleares", Buenos Aires, Argentina, (2001).
- ARN, Autoridad Regulatoria Nuclear, Norma AR 3.6.1 rev. 2, "Sistema de calidad de reactores de potencia", Buenos Aires, Argentina, (2001).
- CSA, Canadian Standards Association, N286.6-98, "Decommissioning Quality Assurance for Nuclear Power Plants", Etobicoke, Canada, 1998.
- ENRESA S.A., "http://www.enresa.es/index_40.html", Madrid, España, 2002.
- HARRINGTON, James, "El Coste de la Mala Calidad", Madrid, España, 1990.
- IAEA, International Atomic Energy Agency, Código 50-C/SG-Q, "Quality Assurance for Safety in Nuclear Power Plants and other Nuclear Installations", Viena, Austria, (1996).
- IAEA, International Atomic Energy Agency, Guía de Seguridad Q-14 "Quality Assurance in decommissioning", Viena, Austria, (1996).
- IAEA, International Atomic Energy Agency, Safety Series N° 111-G 1.1, "Classification of radioactive waste", Viena, Austria, (1994).
- IAEA, International Atomic Energy Agency, Technical Reports Series N° 399 "Organization and management for decommissioning of large nuclear facilities", Viena, Austria, (2000).
- IAEA, International Atomic Energy Agency, Technical Reports Series N° 382, "Design and construction of nuclear power plants to facilitate decommissioning", Viena, Austria, (1997).
- IAEA, International Atomic Energy Agency, Technical Reports Series N° 373, "Decommissioning techniques for research reactors", Viena, Austria, (1994).
- IRAM (Instituto Argentino de Normalización), norma IRAM 3800 "Sistemas de gestión de seguridad y salud ocupacional. Requisitos", Buenos Aires, Argentina, (1998).
- ISO, International Organization for Standardization, norma ISO 14001 "Sistemas de gestión ambiental. Especificaciones y directivas para su uso", Ginebra, Suiza, (1996).
- ISO, International Organization for Standardization, norma ISO 9001 "Sistema de gestión de la calidad. Requisitos", Ginebra, Suiza, (2000).
- ISO, International Organization for Standardization, futura norma ISO/CD 3 19011 "Lineamientos sobre las auditorías de los sistemas de gestión de la calidad y ambiental", Ginebra, Suiza, (2000).
- ISO, International Organization for Standardization, norma ISO 9004 "Sistema de gestión de la calidad. Directrices para la mejora del desempeño", Ginebra, Suiza, (2000).
- ISO, International Organization for Standardization, norma ISO 9000: "Sistema de gestión de la calidad. Conceptos y vocabulario", Ginebra, Suiza, (2000).
- JURAN / GRAYNA, "Análisis y planeación de la calidad", Tercera Edición, Mc Graw-Hill / Interamericana de México, Naucalpan de Juárez, México, 1993.
- MEZARA UP, John; "Quality assurance (QA) plan for the decontamination and disassembly of the Janus facility", Argonne National Laboratory, Chicago, Estados Unidos, (1996).
- PORRO, E.; Informe Técnico, "Desmantelamiento del RA-2" (Comisión Nacional de Energía Atómica, Unidad de Actividad de Reactores y Centrales Nucleares), Buenos Aires, Argentina, (2001).
- SEGADO, R.; MENOSSE, C., Apunte del curso "Seguridad radiología", ARN, Buenos Aires, Argentina, (1999).
- UKAEA, "<http://www.ukaea.org.uk/stages/dl.htm>", Reino Unido de Gran Bretaña, (2000).

Optimización y validación del método para la determinación de actínidos en muestras ambientales y biológicas*

M. L. Cerchietti^{1,2}, M. G. Argüelles¹

¹ Comisión Nacional de Energía Atómica, Centro Atómico Ezeiza, Laboratorio de Dosimetría Personal y de Área, Presbítero Juan González y Aragón N° 15, (B1802AYA), Ezeiza, Buenos Aires, República Argentina.

² Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Dirección de Estudios de Posgrado. Avenida Medrano 951, Buenos Aires (C1179AAQ), Argentina.

E-mail: cerchiet@cae.cnea.gov.ar

Resumen

Las características químicas, físicas, radiotóxicas y biocinéticas del plutonio, y el incremento en su uso en la industria nuclear, lo convierten en representativo de su grupo.

El control de la exposición ocupacional y los riesgos de la incorporación del plutonio son una de las mayores dificultades que debe enfrentar la práctica de la protección radiológica.

Debido a su bajo límite permitido de incorporación es usual que su medición se base en métodos indirectos hechos en muestras de orina (bioensayos). El método puede subdividirse en tres pasos, los que se optimizaron modificando las condiciones de trabajo y cuantificando su influencia en la recuperación del elemento de interés; la selección se basó en practicabilidad y alta recuperación. Los pasos son: concentración de la muestra (coprecipitación), separación y purificación del plutonio y preparación de la fuente por electrodeposición. Fueron calculados parámetros tales como límite crítico, mínima actividad detectable e incertidumbre expandida.

Abstract

The chemical, physical, radiotoxic and biokinetic characteristics of plutonium, and its increasing use in the nuclear industry, makes it representative of its group.

The control of occupational exposure and the risks for incorporation of plutonium are one of the biggest difficulties to be faced the practice of radiological protection.

Due to its low acceptable limit of incorporation its usual measurement is based on indirect methods done with urine samples (bioassays). The method was subdivided in three stages, which were optimized by modifying the working conditions and quantifying its influence in the recovery of the element of interest; the selection was based on higher yield and practicality. These are: concentration of the sample (coprecipitation), separation and purification of plutonium and preparation of the source by electroplating. Parameters such as critical limit, minimal detectable activity and expanded uncertainty were calculated.

* Trabajo realizado sobre la base de la tesis presentada por M. L. Cerchietti para optar al grado de Magister en Radioquímica, bajo la dirección de M. G. Argüelles

Introducción

El objetivo general del trabajo es desarrollar, optimizar y validar un método radioquímico que permita determinar actínidos en muestras ambientales y biológicas. Actualmente, las exigencias sobre los resultados analíticos emitidos por los laboratorios son numerosas. Tales resultados inducen las decisiones a tomar, y más aún en el marco de regulaciones nacionales e internacionales con respecto a las condiciones laborales y ambientales, que sin duda, son factores relevantes en la salud y en la calidad de vida de las personas.

En el marco de la protección radiológica el control de las características del ambiente se realiza en forma directa o indirecta. En particular, los trabajadores que manipulan actínidos se encuentran potencialmente expuestos a su incorporación, y son monitoreados rutinariamente por medio de bioensayos. Este tipo de análisis es habitual cuando se evalúa la contaminación interna de emisores alfa en forma rutinaria y en el caso de situaciones atípicas o especiales en combinación con otros métodos.

Dentro de los actínidos, el plutonio tiene características químicas, nucleares, radiotóxicas y biocinéticas que lo hacen representativo de su grupo. El plutonio no es un elemento simple y convencional de la tabla periódica, con una historia de descubrimiento, desarrollo y utilización en plazos razonables, sino que a partir de su descubrimiento ha sido inmediatamente utilizado en todo tipo de actividades tanto civiles como militares. El control de la exposición ocupacional y de los riesgos de la incorporación de plutonio no evolucionó en igual medida e incluso aún hoy es una de las mayores dificultades que debe enfrentar la práctica de la protección radiológica. El monitoreo individual, con el propósito de la evaluación dosimétrica interna experimental, puede llevarse a cabo por mediciones de actividad del cuerpo y de los órganos (in vivo, o mediciones directas), por bioensayos (in vitro, o mediciones indirectas), por muestreo ambiental, o por una combinación de éstas (IAEA, 1999; DOE- STD- 1128-98).

La elección de una adecuada técnica de medición depende de varios factores tales como el tipo de energía emitida por las radiaciones, el comportamiento biocinético del contaminante y el decaimiento radiactivo, la sensibilidad, las posibilidades y conveniencia de la técnica. Durante los últimos años, numerosas aplicaciones de plutonio y otros elementos transuránicos han determinado un incremento del número de trabajadores expuestos al riesgo de una contaminación interna.

El monitoreo de los trabajadores es necesario, no sólo para asegurar la detección inmediata de una posible incorporación, evaluando el resultado de la dosis interna, sino también para confirmar la integridad del sistema de barreras ingenieriles y asegurar la eficiencia del programa global de protección. Para esto se requiere una completa información del escenario de la contaminación, así como las actividades llevadas a cabo por las personas, elementos de protección adoptados, compuestos comúnmente manipulados y sus formas químicas.

Hay varias características del plutonio que hacen que su contaminación sea única. Esta contaminación puede deberse a distintas formas físicas y químicas. Una de las características que lo hacen único es su habilidad de migrar y su alta radiotoxicidad, dando como resultado límites aceptables de incorporación muy bajos, lo que hace difícil su detección en el cuerpo humano. En el presente, el monitoreo de la contaminación interna del plutonio se realiza en forma indirecta por medio de bioensayos, debido a la baja penetración de la radiación alfa que impide ser detectada directamente desde el cuerpo. Las muestras colectadas son de orina en la que se estima la dosis, y la interpretación de estos bioensayos se realiza en función de los órganos y los tejidos sensibles para lo cual se requiere conocer exactamente el metabolismo del plutonio.

El plutonio posee una química analítica variada y compleja; las múltiples necesidades de control analítico que requieren los trabajos con plutonio, ya sea en investigaciones o en procesos de planta, hacen que se necesite un método analítico diferente debido a los distintos requerimientos en precisión y exactitud, rango de concentración a medir, matrices más o menos complejas, etc.

Por otro lado, los laboratorios analíticos actualmente se ven sujetos a exigencias en cuanto a la implementación de los programas de calidad para evidenciar el desempeño y normalizar las tareas, siendo una herramienta muy útil para adquirir las evidencias necesarias para revelar la competencia técnica de los laboratorios, (Boqué, 2002; IRAM 301, 2000).

La inmediata evaluación de las dosis es importante y se logra demostrando competencia técnica con estándares, dando información a los trabajadores, estableciendo un historial de cada uno de ellos, y emitiendo una respuesta frente a situaciones especiales. En consecuencia, los datos analíticos provenientes del método radioquímico conducen a la toma de decisiones en el plano dosimétrico, por lo que el objetivo general de este trabajo involucra una completa evaluación de cada una de las etapas que lo componen y una intensa caracterización de los sistemas de medición.

En lo que se refiere al método radioquímico, deben establecerse los parámetros básicos derivados exclusivamente de los valores experimentales, pese a que no todos los parámetros exigidos por el plan de calidad aplicado pueden abordarse experimentalmente; se propone un nuevo enfoque de selección, basándose por un lado, en las metodologías rigurosas propuestas por los organismos internacionales que aportan normas y por otro lado, en la relevancia práctica dentro del plano dosimétrico. De esta manera se obtienen y se documentan las evidencias de que el sistema evaluado funciona según lo esperado.

Un objetivo concomitante es la mejora continua, por lo que el método analítico se somete a una evaluación integral para conocer la recuperación en cada etapa y con ello el cálculo de las pérdidas y su influencia sobre los resultados finales. La recuperación global del método indica la sensibilidad y determinará su empleo según las características de la muestra; por otro lado, más relevante que el conocimiento de los rendimientos parciales son las pérdidas de cada etapa que indican el camino a seguir frente a las posibles mejoras, marcando los puntos principales que deben ser modificados. Con la metodología empleada se identifican claramente los puntos a modificar y se proyectan los futuros cambios.

Parte Experimental

La técnica se basa en las características de un bioensayo convencional en busca de elementos en trazas, por lo que requiere de los siguientes pasos:

1. Preparación de la muestra, separando al elemento de la matriz multielemental y variable, por medio de una co-precipitación.
2. El segundo paso es separar y purificar estas trazas de posibles interferencias químicas y radioquímicas que pudieran estar presentes; se realiza a través de columnas de intercambio iónico con resinas acondicionadas para tal fin.
3. El tercer paso es la medición de radiactividad, que incluye la preparación de la fuente para la medición por espectrometría alfa a través de una electrodeposición con soluciones electrolíticas específicas y libre de cualquier interferencia, para obtener la fuente en las condiciones requeridas para su medición.
4. Interpretación de los resultados y, en particular, estimación de la dosis.

La optimización del método se realiza modificando los parámetros y cuantificando la influencia de los mismos en cada una de las tres etapas en las que se dividió. Cada parámetro se evalúa en forma independiente, de tal manera que el resto de las condiciones de la técnica permanece constante y sólo cambia el parámetro seleccionado. El criterio de selección de las condiciones óptimas de trabajo se basa en obtener la mayor recuperación.

Para la evaluación de las pérdidas se contaminan las muestras con Pu-242 como trazador, antes de cada etapa, y se completa todo el método. Las muestras se miden por LSC (contador de centelleo líquido Wallac and EG&G Company 1414 WinSpectral™ α/β) y con detectores de tipo PIPS para espectrometría alfa

(EG&G ORTEC ULTRA™ ^{AS}Ion Implanted Si Charged Particle Detector). Los cálculos estadísticos se realizan con el programa Statistix 7.0 (Analytical Software, Tallahassee, FL, USA, 2000).

Preparación de la muestra

Este procedimiento es realizado para homogeneizar y preparar la muestra para sucesivos procesos químicos, (Vera Tomé y colaboradores, 1994). En efecto, cada bioensayo contiene una muy pequeña cantidad del radionucleido de interés, normalmente junto a una matriz compleja que contiene otros constituyentes químicos que deben ser eliminados (Luciani, 2002; Miura, 2001).

La separación inicial se realiza a través de una coprecipitación, y en ella se evalúa:

- La influencia de temperatura con un total de 24 muestras, en un rango de 19 °C a 80 °C (cada 20 °C);
 - La masa del agente precipitante para una mejor precipitación; para ello se analizaron 27 muestras, y una solución de 100 mg/mL de CaHPO₄ en HNO₃ 8M utilizando un rango de volumen de 1 mL hasta 5 mL.
- Finalmente todas las muestras se disponen para su medición por LSC, previa calificación del instrumental bajo las condiciones operativas específicas.

Purificación por columnas de intercambio iónico

Una vez que el radionucleido ha sido separado de la matriz de la muestra, se llevan a cabo los procesos de purificación para separarlo de otras impurezas químicas que están presentes en las muestras biológicas y de otros radionucleidos que podrían interferir en la fase de medición de actividad. Los parámetros a evaluar son:

- El tipo de resina; de los cuatro tipos de resinas disponibles solamente se pudieron cuantificar 2 grupos de la misma resina AG 1x8 Cl⁻ de 100-200 mesh y de 50-100 mesh (n = 113);
- La longitud de la columna (diámetro de 1 cm)(n = 71) en un rango de 4 cm a 10 cm;
- La composición y el volumen de la solución eluyente;
- La reutilización de la columna;
- La verificación de ausencia de analito en los lavados antes de la elución.

Finalmente todas las muestras se miden por LSC, con la correspondiente calificación del instrumental.

Preparación de la fuente para su medición por electrodeposición

Una vez purificada, la muestra debe ser preparada en una forma adecuada para medir la actividad del radionucleido. Las partículas alfa son partículas cargadas y pesadas y ceden su energía durante la interacción con la materia provocando procesos de ionización y excitación, pudiendo ser atenuadas o absorbidas completamente en unos pocos micrómetros de tejido biológico o unos pocos centímetros de aire. Cualquier interacción podría disminuir el número de partículas que llegan al detector, causando pérdidas de la eficiencia en el sistema de detección. Idealmente, la fuente debe consistir de una capa monoatómica de emisores alfa con ausencia de toda materia extraña que podría atenuar la radiación, causando con ello pérdida de la resolución. Además, la fuente debe manejarse sin excesivos problemas, ser químicamente estable y contener un depósito uniforme y delgado para su medición en un soporte fijo.

Una de las técnicas más conocidas para este propósito es la electrodeposición. Este proceso se realiza en una celda electrolítica donde el cátodo es un disco de acero inoxidable con una cara expuesta a los electrolitos y el ánodo un electrodo de platino. Por medio del proceso de electrólisis el radionucleido es depositado sobre el cátodo, según el método convencional de Talvitie (1972) para deposición de actínidos.

En búsqueda de las condiciones óptimas se analizaron 82 muestras, con distintas soluciones electrolíticas y tiempos de electrodeposición entre 40 minutos y 120 minutos, en intervalos de 20 minutos. Debido a que la acidez de la solución es un factor crítico en el desempeño del proceso, se evaluó el pH

de la misma en un ámbito de 1,5 a 2,9 (cada 0,5 unidades). Una vez finalizada la electrólisis, una capa muy delgada del radionucleido de interés queda depositada en el cátodo: este depósito representa la muestra radiactiva capaz de someterse a los pasos de un análisis por espectrometría alfa.

Preparación del instrumental de medición

Medición por centelleo líquido (LSC)

El uso del trazador de Pu-242 certificado, con la composición isotópica detallada, posibilita la medición por centelleo líquido; sin embargo, la presencia de emisores alfas y betas en el trazador implica la correcta separación entre los eventos alfa y los eventos beta. El cóctel de centelleo utilizado es biodegradable, de los llamados "lentos" y con base en DIN.

Para la optimización y calibración del contador se incluyó lo siguiente:

- Optimización de la discriminación de los pulsos alfa/beta (α/β) usando PSA (Pulse Shape Analysis)
- Optimización de la relación muestra/centellador
- Calibración en eficiencia del detector
- Optimización de la zona de interés
- Determinación del fondo instrumental y de los límites mínimos de concentración detectable.

Medición por espectrometría alfa

Los detectores de sílice con iones implantados para determinar partículas alfa conforman un nuevo grupo de detectores que tienen algunas ventajas como por ejemplo: estabilidad, buena resolución alfa, bajo ruido, ventanas finas, menor cantidad de pérdidas, mejor resolución y estabilidad frente a los cambios por fenómenos externos (L'Annunziata, 1998). Para la espectrometría alfa son necesarios tres requisitos: alta resolución, alta sensibilidad y bajo fondo.

Los factores que influyen en la eficiencia y en la resolución son: (Knoll, 1989):

- La distancia fuente-detector: Toda partícula alfa que ingresa al área activa del detector es contada. La eficiencia del conteo es obtenida así por la eficiencia geométrica, que depende del ángulo sólido bajo el cual el detector sostiene a la fuente. Puede ser muy variable, especialmente con distancias fuente-detector pequeñas, debido a factores como la autoabsorción de la fuente. En este caso en particular, las fuentes certificadas (Isotope Products Laboratories, Burnbank, California) se colocan a distancias preestablecidas, en intervalos de 4 mm, con una distancia máxima de 44 mm. Se determina la medición en el plato 3 correspondiente a una distancia fuente-detector de 12 mm, con una eficiencia (media) de 4,6%.
- El radio de la fuente según las condiciones de preparación, es de $8,5 \pm 0,5$ mm, similar al radio del detector. Las fuentes deben ser homogéneas y finas para disminuir la autoabsorción, que es proporcional al espesor e inversamente proporcional a la actividad específica.

Cálculo de recuperación y pérdidas

Una vez obtenidas las condiciones óptimas de cada etapa del método radioquímico se evalúa el método en general conociendo el rendimiento y las pérdidas, para tal caso, se preparan muestras a partir de un patrón certificado con actividades tales que puedan ser fácilmente identificables más allá de sufrir grandes pérdidas. Son agregadas a las muestras de 1000 mL de orina blanco (de personal no expuesto) en las diferentes etapas del procedimiento: antes de la coprecipitación, antes de la separación por intercambio iónico y antes de la electrodeposición, con el objetivo de determinar la recuperación en cada paso del procedimiento radioquímico global. En todos los casos, se completa el mismo procedimiento y se mide por PIPS.

Conociendo las áreas correspondientes, se calcula la recuperación aparente según las actividades colocadas en cada etapa. La incertidumbre en los porcentajes se calcula usando la propagación de errores. La solución patrón posee una incertidumbre total, al 99% de NC, igual a $\pm 3,7\%$ de la actividad total de Pu-242 ($0,1840 \mu\text{Ci/g}$).

Las recuperaciones en cada muestra se denotan según Vera Tomé y colaboradores (1994):

Y(CIE) = recuperación (coprecipitación + intercambio iónico + electrodeposición)

Y(IE) = recuperación (intercambio iónico + electrodeposición)

Y(E) = recuperación (electrodeposición)

Y las recuperaciones en cada etapa serán: YC, YI, YE.

Globalmente pueden expresarse como:

$Y(\text{CIE}) = YC * YI * YE$

$Y(\text{IE}) = YI * YE$

$Y(\text{E}) = YE$

Es de mayor importancia analítica cuantificar las pérdidas de actividad en cada fase, éstas se denotan como LC, LI y LE, relativas a la actividad total presente antes del proceso de concentración. Un nuevo grupo de ecuaciones aparece, permitiendo los cálculos de estas pérdidas:

$LC = 1 - YC$

$LI = YC * (1 - YI)$

$LE = YC * YI * (1 - YE)$

Obteniéndose:

$C + LI + LE + Y(\text{CIE}) = 1$

(la fracción de las pérdidas de actividad en cada etapa y la recuperación total es igual a la unidad).

Resultados

Optimización de las condiciones

En la etapa de concentración inicial, coprecipitación con CaHPO_4 , del estudio de la temperatura y de la cantidad de precipitante, sobre un total de 51 muestras, se determinaron las siguientes condiciones:

- Temperatura 60 °C ($94,5\% \pm 4,35\%$) (Figura 1). Las muestras se contaminaron con Pu-242 y se calcularon los rendimientos (recuperación) a distintas temperaturas de coprecipitación. En la figura se observa la mediana y los cuartos con el 50% de los datos de cada serie. Se comparan las temperaturas 40 °C (n = 5); 60 °C (n = 6), $p = 0,7837$ (NS), y entre 60 °C (n = 6) y 80 °C (n = 6), $p = 0,0898$ (NS).

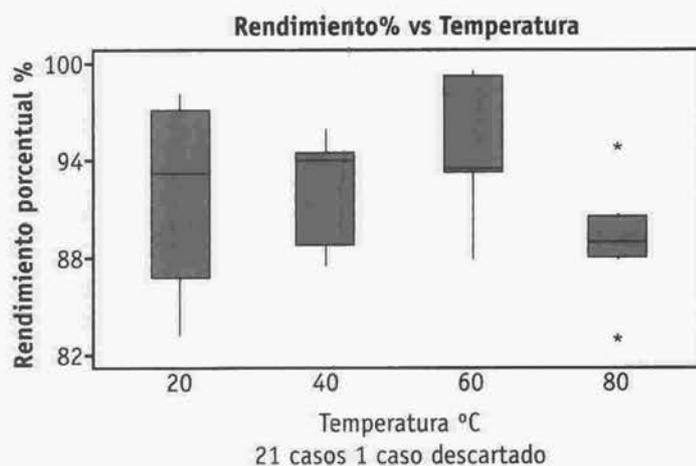


Figura 1. Distribución de las medianas

Para el nivel de significación seleccionado, los p-valores son mayores a 0,05, por lo que las medianas de cada serie comparadas entre sí no difieren significativamente. Cabe notar que el menor valor de p en la

comparación de 60-80 °C indica que puede considerarse a las medianas diferentes a un nivel del 9%. Se selecciona la temperatura 60 °C por presentar mayor porcentaje de recuperación y el menor desvío estándar en sus resultados (es decir, menor dispersión muestral).

- 2 mL de CaHPO_4 100 mg/mL en HNO_3 8M ($88,9\% \pm 4,66\%$) (Figura 2).

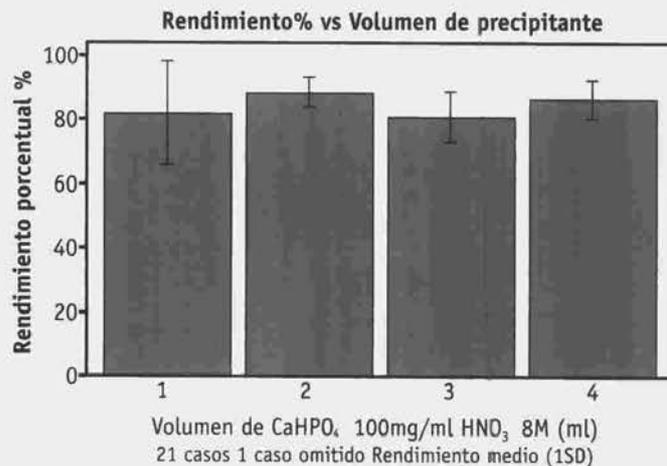


Figura 2. Rendimientos medios y desvío estándar de las muestras contaminadas con Pu-242 a distintos volúmenes de precipitante.

Las comparaciones se realizaron entre 2 mL (n = 6) - 3 mL (n = 6), $p = 0,0678$ y entre 2 mL (n = 6) - 4 mL (n = 6), $p = 0,5027$. De acuerdo a los datos anteriores, no hay diferencia significativa al 5% en ningún caso, pero se observa que al 7% de nivel de significación hay diferencia entre las medias de las series de 2 mL y de 3 mL. El criterio aplicado para la selección del volumen utilizado como precipitante, es la menor cantidad requerida de volumen cuando se obtienen porcentajes de recuperación similares.

En la etapa de separación por intercambio iónico, se obtienen los siguientes resultados, basándose en el análisis de 113 muestras contaminadas:

- Las columnas son utilizadas con resinas AG 1x8 Cl^- 50-100 mesh (n = 29), dando una media de $68,9\% \pm 13,5\%$, y 100-200 mesh (n = 39) con una media de $73,7\% \pm 10,3\%$ (Figura 3).

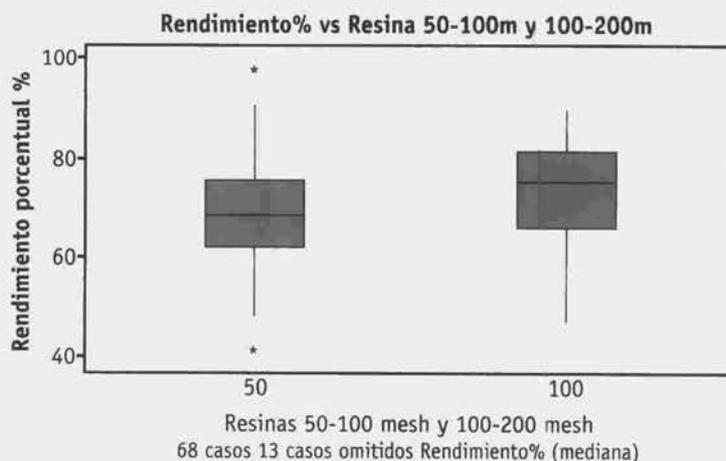


Figura 3. Comparación de la mediana de los rendimientos obtenidos para muestras contaminadas con Pu-242 separadas por intercambio iónico.

Los resultados obtenidos no arrojan diferencias significativas ($\alpha = 0,05$) con un valor $p = 0,1045$.

- La longitud de la columna (de 1 cm de diámetro) no es un parámetro crítico, y se selecciona entre 4,5 cm y 9,5 cm.
- El volumen mínimo para recuperar el máximo de plutonio de las columnas es 3/4 de la longitud de la misma, y entonces el adecuado y suficiente es 1,50 de la longitud de la columna tanto para de resinas de 100-200 mesh como de 50-100 mesh. En la figura 4 se presentan los datos crudos para los dos tipos de resina usados.

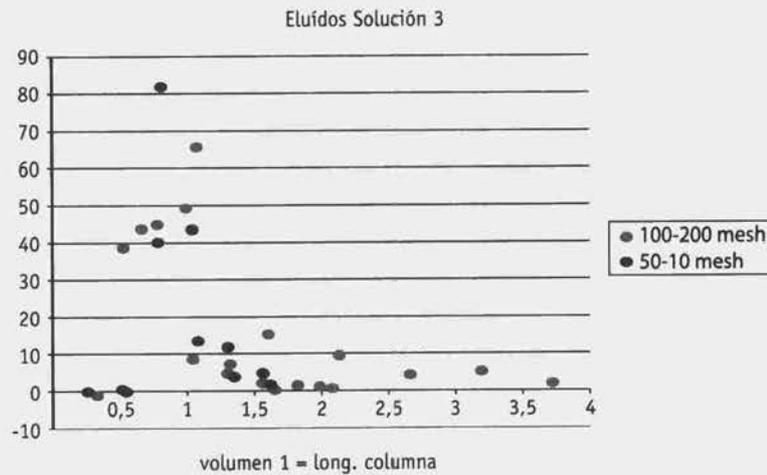


Figura 4. Rendimiento de las fracciones de eluido en función de la longitud de la columna

- Mínimas alteraciones en la composición de la solución eluyente no alteran significativamente los rendimientos (95% de NC). En la figura 5 se presentan los resultados obtenidos utilizando las siguientes soluciones eluyentes.
 - (0,3 N de hidroxilamina en 2 N de ácido clorhídrico),
 - (0,06 N de hidroxilamina en 2 N de ácido clorhídrico),
 - (0,1 N de hidroxilamina en 0,2 N de ácido clorhídrico).

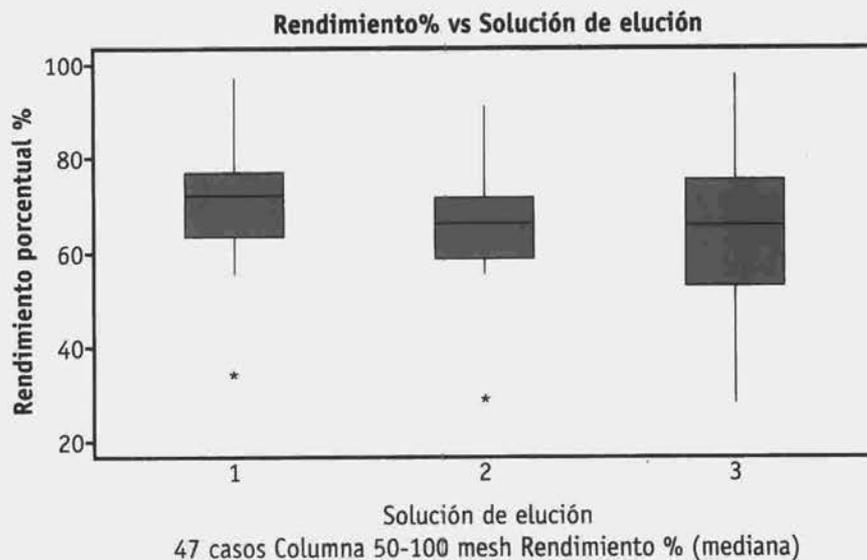


Figura 5. Rendimientos porcentuales (mediana) obtenidos de muestras contaminadas con Pu-242 (n = 47) evaluadas en columnas de 50-100 mesh con distintas soluciones eluyentes

Los ensayos se evaluaron a un nivel de significación del 5% ($\alpha = 0,05$); la comparación de a pares arrojó lo siguiente:

- solución a (n = 9) - solución b (n = 8), p-valor = 0,5631 (NS)
- solución a (n = 9) - solución b (n = 30), p-valor = 0,5395 (NS)
- solución b (n = 8) - solución c (n = 30), p-valor = 0,8869 (NS)

• Las resinas de 100-200 mesh presentan una disminución importante en su desempeño (~30%) en las primeras reutilizaciones; de igual manera, las resinas de 50-100 mesh muestran una tendencia a disminuir, no siendo marcadamente significativa como las anteriores por su bajo punto inicial de rendimiento, y la longitud de la columna no parece tener influencia sobre la tendencia presentada.

• No hay pérdidas de plutonio durante los lavados de las columnas ($1,31\% \pm 0,70\%$), y además no hay pérdidas significativas durante el proceso de evaporación en plancha a $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($92,3\% \pm 3,30\%$) en las etapas intermedias.

Durante la electrodeposición se analizaron un total de 82 muestras contaminadas, con un volumen de solución electrolítica de 12 mL y una corriente de trabajo de $0,95\text{A}$. La evaluación de la solución electrolítica involucró tres tipos, cada una con un tiempo de 40, 60, 80, 100 y 120 minutos, y las condiciones óptimas para cada solución fueron (Figura 6):

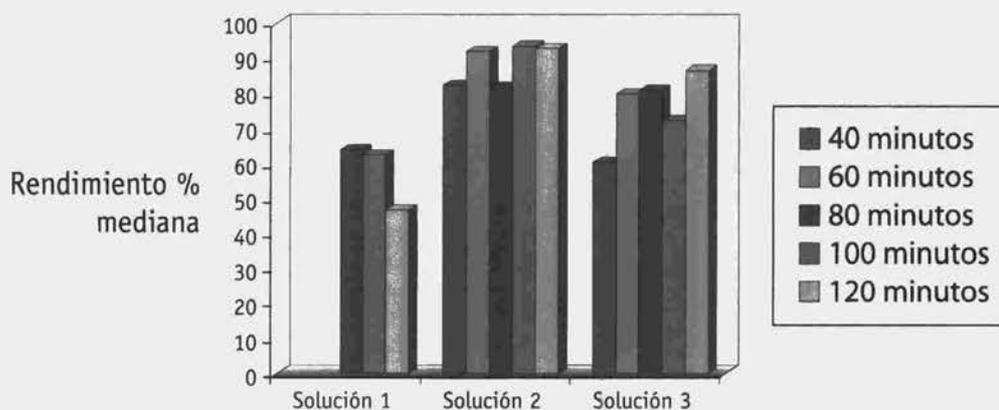


Figura 6. Rendimientos medios de las soluciones electrolíticas evaluadas en función del tiempo de electrodeposición de muestras contaminadas con Pu-242 (n = 57) a 950 mA .

- Solución 1: DTPA, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ (n = 9) pH 1,8, 63,9%; IC (47,0%-88,3%); tiempo de electrodeposición 80 minutos.
- Solución 2: NH_4OH , H_2SO_4 (n = 33) pH 2,18; 93,3%; IC (67,8%-98,8%), tiempo de 100 minutos.
- Solución 3: NH_4OH , H_2SO_4 preparada in situ (n = 15) pH 2,2-2,4; 86,5%; IC (70,4%-90,7%), tiempo de 120 minutos.

Las soluciones 2 y 3 no presentan diferencias significativas entre sus medianas al 5%.

Sobre la base de los valores anteriores, se selecciona la solución de trabajo del tipo NH_4OH , H_2SO_4 , que se prepara previamente o en el momento según el número de muestras a ensayar, teniendo en cuenta que no presentan diferencias significativas entre sus medianas al 5%.

Asimismo, se estudió la influencia del pH de la solución electrolítica sobre un total de 26 muestras. Se demostró que es posible trabajar en un rango de pH de 2,0-2,8 sin alterar significativamente el rendimiento de la electrodeposición (Figura 7).

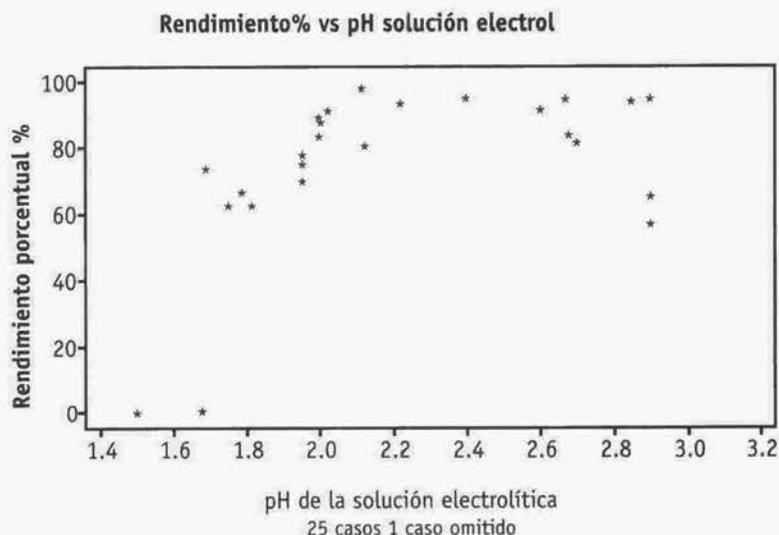


Figura 7: Rendimientos obtenidos de muestras contaminadas con Pu-242 y electrodepositadas en una solución de $\text{NH}_4\text{OH-H}_2\text{SO}_4$ a 100 minutos, con corriente de 1.Á, modificando el pH.
25 casos 1 caso omitido

Estudio de las pérdidas en cada etapa

Los datos previos de optimización indican una recuperación media porcentual de $91,7\% \pm 4,51\%$ (IC 87,2%- 96,2%), N=51 en la coprecipitación, mientras que en la etapa de separación una recuperación media porcentual de $71,3\% \pm 11,9\%$ (IC 59,4%-83,2%) N = 113, y finalmente en la preparación de la fuente, se obtuvo una recuperación porcentual (mediana) de 93,3% IC (67,8%-98,8% (método de Altman)) N = 82.

Para estudiar las pérdidas se tomaron 24 muestras blanco (matriz sin analito) de 800 mL a las que se les adicionó el trazador de Pu-242 antes de cada etapa, en todos los casos se completó el método y se midió por espectrometría alfa.

Los valores de las pérdidas fueron calculados con las ecuaciones citadas anteriormente y se presentan en la Tabla 1, siendo LC la pérdida en la coprecipitación, LI en el intercambio iónico y LE en la electrodeposición. Los resultados están expresados como $\% \pm$ incertidumbre asociada (fueron calculados con las ecuaciones detalladas en el punto 2.4.3).

Tabla 1. Porcentajes de pérdidas de actividad

Pu	LC %	LI %	LE %	Y(CIE) %
Orina	$59,5 \pm 20,5$	$29,9 \pm 6,73$	$4,16 \pm 1,68$	$6,52 \pm 1,25$

Se observa que el paso que involucra pérdidas mayores al 50% es la coprecipitación, constituyendo una etapa crítica en el método para ser evaluada y controlada.

Preparación del instrumental de medición

La evaluación de los sistemas de medición (centelleo líquido (LSC) y espectrometría alfa), es un punto clave para avalar los resultados obtenidos, y con mayor importancia en aquellas determinaciones con matrices y con fondos de medición influyentes y de alta variabilidad. Una vez que se establecen las condiciones de medición específicas para cada instrumental, se infiere que:

- Las muestras patrones medidas por LSC de coprecipitación (eficiencia $96,7\% \pm 2,2\%$) y de intercambio iónico (eficiencia $78,4\% \pm 9,5\%$) no difieren significativamente ($\alpha=0,05$) del valor tomado como referencia, por lo que son aceptados como exactos para ambas matrices.

- Las curvas de calibración, tanto para las muestras de coprecipitación como para las de intercambio iónico, muestran linealidad dentro del ámbito de trabajo.
- Los desvíos estándares relativos (RSD) obtenidos en las mediciones para las muestras de coprecipitación (RSD 2,28%) y para las muestras de intercambio iónico (RSD 10,7%), indican la precisión en las mediciones.
- La diferencia de los valores de RSD entre las muestras de distintas fases puede ser atribuible a la diferencia de actividad de material certificado utilizado en cada una, como así también a la matriz de la medición.
- Las muestras de espectrometría alfa presentan un RSD = 13,5%; este valor representa cuantitativamente la variabilidad principalmente del sistema de preparación de la fuente y con menor influencia la dispersión de la medición en sí. Por lo tanto, las muestras son medidas en condiciones de exactitud y precisión dentro de un ámbito lineal de trabajo, tanto para LSC como para espectrometría alfa.

El empleo de espectrometría alfa y de centelleo líquido para la determinación de emisores alfa se encuentra muy bien diferenciado según el propósito final. El LSC es una útil herramienta para evaluaciones donde se conoce el radionucleido a medir, de screening, por lo que se utiliza efectivamente para cuantificar las recuperaciones de cada paso de la técnica. Por otro lado, la espectrometría alfa se ajusta perfectamente a los ensayos que requieren alta sensibilidad y una completa caracterización de los isótopos que se encuentran en la muestra, pese a la desventaja que presenta la preparación de la fuente.

Comparación de los parámetros de desempeño

La Tabla 2 resume las condiciones operativas de los dos métodos utilizados para la medición de las muestras provenientes de los diferentes pasos de la optimización del proceso analítico. Los datos corresponden a las soluciones preparadas en la matriz utilizada en la medición con Pu-242 certificado. La selección del método de medición de las muestras se realiza bajo los criterios de facilidad operativa, de economía de tiempo y de disponibilidad de equipos y reactivos.

Tabla 2. Condiciones operativas para cada técnica en la matriz correspondiente según la etapa de evaluación

Medición de Pu-242 ^a	LSC	LSC	Espectrometría alfa
	Matriz de Coprecipitación	Matriz de Intercambio iónico	
Fondo (cpm)	4,18 ± 0,72 (0,861) ^c	2,06 ± 1,23	0,003 ± 0,002
Eficiencia de conteo (%)	96,7 ± 2,20	78,4 ± 9,54	4,60
Tiempo de medición (seg)	120	120	65969,1
Preparación de la fuente	No	No	Si
Figura de mérito (E2/bg) ^b	2237,1	2983,8	7053,3

^a Para las condiciones particulares de las muestras

^b Figura de mérito = proporción entre el cuadrado de la eficiencia y las cuentas por minuto del fondo

^c Correspondiente al fondo medido con discriminación alfa/beta (PSA).

Discusión

Incertidumbre

La evaluación de la incertidumbre asociada a un resultado es una parte esencial de cualquier análisis cuantitativo. La incertidumbre es definida como "un parámetro asociado al resultado de una medición, que se caracteriza por la dispersión de los valores que pueden ser atribuidos razonablemente al mesurando" (BIPM, 1993).

Cálculo de la incertidumbre del método

i. Identificación de las fuentes de incertidumbre del método

Calibración del instrumental

Efecto de la matriz de las muestras

Error de apreciación en los instrumentos analógicos

Error de apreciación en la lectura de material volumétrico

Incertidumbre de los materiales utilizados como referencia (certificados)

Efectos de los blancos de reactivos

Condiciones ambientales

ii. Cuantificación de los componentes de la incertidumbre

Calibración del instrumental con fuentes de referencia certificadas: $\pm 3\%$

Solución de referencia (plutonio-242) 3,7% (99 % NC) del certificado, las soluciones preparadas: $\pm 6\%$

Efecto de la matriz: $\pm 5\%$

Error de apreciación de los instrumentos analógicos: $\pm 0,1\%$

iii. Conversión a incertidumbre estándar

Incertidumbre sistemática (de tipo B): seleccionando una distribución rectangular, donde la incertidumbre es igual a la incertidumbre dada por el fabricante dividido la raíz cuadrada de tres: $\pm 4\%$

Incertidumbre azarosa (de tipo A, estadístico): calculada por medio de la propagación de errores del método utilizando los datos de desvío estándar de cada etapa de pretratamiento de la muestra: $\pm 14\%$

iv. Cálculo de la incertidumbre combinada

Por medio de la propagación de errores: $\pm 15\%$

v. Cálculo de la incertidumbre expandida

Se multiplica a la incertidumbre combinada por un factor de cobertura k . En este caso se selecciona un valor de 2 que provee un 95% de nivel de confianza (NC) bajo distribución normal. El valor de la incertidumbre es $\pm 30\%$ al NC 95%, que para los criterios de selección optados se consideran dentro del rango de lo esperado, debido a que se trabaja con muestras biológicas y con material radiactivo presente en bajos niveles de concentración.

Límites de decisión y de detección - Relevancia dosimétrica

Una de las causas principales por la que se requiere una completa caracterización del sistema de medición de radiactividad es que las muestras son medidas siempre en presencia de un fondo de radiación, limitando la detección de la contribución de la muestra. Dos cantidades son introducidas: el umbral de decisión que se indicará como L_c , que permite establecer si hay una contribución de la muestra en las cuentas medidas, y el límite de detección (L_d) que permite evaluar la mínima contribución de la muestra que puede ser realmente detectada (Altshuler, 1963).

Estos conceptos fueron presentados primariamente por Currie (1968, 1972) y desarrollados por las autoridades de estandarización nacionales e internacionales (Long, 1983). Básicamente la determinación del umbral de decisión y el límite de detección se funda en la hipótesis estadística acerca de la igualdad de distribuciones de las cuentas de la muestra y del fondo. Si N_0 son las cuentas del fondo y N_b son las cuentas de la muestra, es $N_n = N_b - N_0$. El L_c (de decisión) se define como el valor crítico de un test estadístico de hipótesis nula, $H_0: \nu_0 = \nu_b$.

El valor crítico del test estadístico, L_c , es definido como la probabilidad $P(N_n > L_c) = \alpha$, donde α es un

nivel preseleccionado entre 0 y 1, y calculado sobre la distribución de las cuentas del fondo. Si un número de cuentas medido N_n es mayor que L_c entonces la nulidad de la hipótesis es rechazada y se puede concluir que es una contribución de la muestra. La probabilidad que la hipótesis nula sea equivocadamente rechazada (error de tipo 1) es α .

El límite de detección L_d es considerado cuando la hipótesis nula es equivocadamente aceptada. Si la muestra en realidad contribuye a la señal pero se decide que no, es un error tipo 2, la probabilidad es β , $P(N_n < L_d)$. Así, si N_n excede L_d , la probabilidad de rechazar equivocadamente una contribución de la muestra sería β .

Cabe notar que sobre este aspecto existe numerosa bibliografía y con ello una gran cantidad de mecanismos y criterios empleados para el cálculo de estos límites. Se presentarán aquellos de mayor difusión para luego poder comparar los resultados analíticos y seleccionar un criterio único de trabajo enfocado en la aplicación estrictamente dosimétrica de los datos (Prasad, 2000).

Cálculo del Límite de Decisión, del Límite de Detección y de la Mínima Actividad Detectable (MDA) del Método

Se seleccionan los límites de decisión, de detección y la mínima actividad detectable como parámetros cuantitativos de alta relevancia para caracterizar al método de determinación, teniendo en cuenta la importancia y alcance de las decisiones tomadas a partir de los resultados en cuanto a la protección radiológica (Rucker, 2001).

Se analizaron 12 muestras de 800 mL de orina blanco (libre de analito) con el método optimizado. El mismo se dividió en tres etapas: el paso inicial de concentración por medio de coprecipitación, la etapa de separación y purificación mediante columnas de intercambio iónico, y finalmente la preparación de la fuente por electrodeposición para espectrometría alfa. Las muestras se midieron con detectores PIPS durante 24 horas y se ajustaron los datos según la eficiencia de conteo. Los resultados obtenidos son:

$N = 12$ muestras blanco

n (número de grados de libertad) = 11

media aritmética de las cuentas = 31,42

$s = 12,35$ cuentas

media del tiempo de medición = 84473,86 segundos

eficiencia media de conteo = 0,0462

Con los datos anteriores, se calcula por medio de cuatro mecanismos muy similares y que se encuentran altamente distribuidos en la bibliografía actual los L_c y L_d (DIN 225 482, 1992; ISO/11929, 1994).

Para el caso de la mínima actividad detectable, como requiere el dato de rendimiento global del método, se tomaron los valores más bajos obtenidos. En esta instancia, cabe notar que en todos los casos cuando el límite de detección se encuentra expresado en Bq/unidad de masa, representa a la mínima actividad detectable. Los resultados se muestran en la Tabla 3, para cada uno de los medios. Los cálculos se realizaron según los tres métodos (Currie, ecuación global y DIN) y se presentan en la tabla como vía 1, 2 y 3. Además, los valores se calcularon con el mínimo rendimiento porcentual obtenido optimizado de plutonio en orina.

Tabla 3. Valores de límite de decisión y límite de detección para el método radioquímico

Vía	L_c (cuentas)	L_c (mBq/l)	L_d (cuentas)	L_d (mBq/l) = MAD
1	22,18	95,87	47,59	205,7
2	23,70	102,4	50,36	217,7
3	20,32	87,80	40,76	176,18

Las fórmulas utilizadas fueron las siguientes:

$$1 \quad L_d = t^2 + 2ts_o$$

$$L_c = \frac{ts_o}{E R I D F W}$$

$$2 \quad L_c = \frac{k_{1-\alpha}^2}{2} + k_{1-\alpha} \sqrt{N_o + s_o^2} + \frac{k_{1-\alpha}^2}{4}$$

$$L_d = \frac{(k_{1-\alpha} + k_{1-\beta})^2}{2} + (k_{1-\alpha} + k_{1-\beta}) \sqrt{N_o + s_o^2} + \frac{(k_{1-\alpha} + k_{1-\beta})^2}{4}$$

$$3 \quad L_c = 1,645 s_o$$

$$L_d = 3,3 s_o^2$$

Los valores del límite de decisión (L_c) y del límite de detección (L_d) o Mínima Actividad Detectable (MAD) son parámetros de mayor interés en la caracterización del método (L'Annunziata, 1998; Knoll, 1989; Vera Tomé y colaboradores, 1994).

A partir de los cálculos y su comparación, el criterio seleccionado, basado estrictamente en la importancia práctica con enfoque dosimétrico, es el cálculo propuesto por la metodología DIN. Los valores obtenidos fueron $L_c = 0,1024$ Bq/L y $MAD = 0,2177$ Bq/L de orina. Este enfoque incluye tanto los errores tipo 1 y tipo 2 (falsos positivos y falsos negativos en un nivel menor al 5%), como así también la incertidumbre global del método.

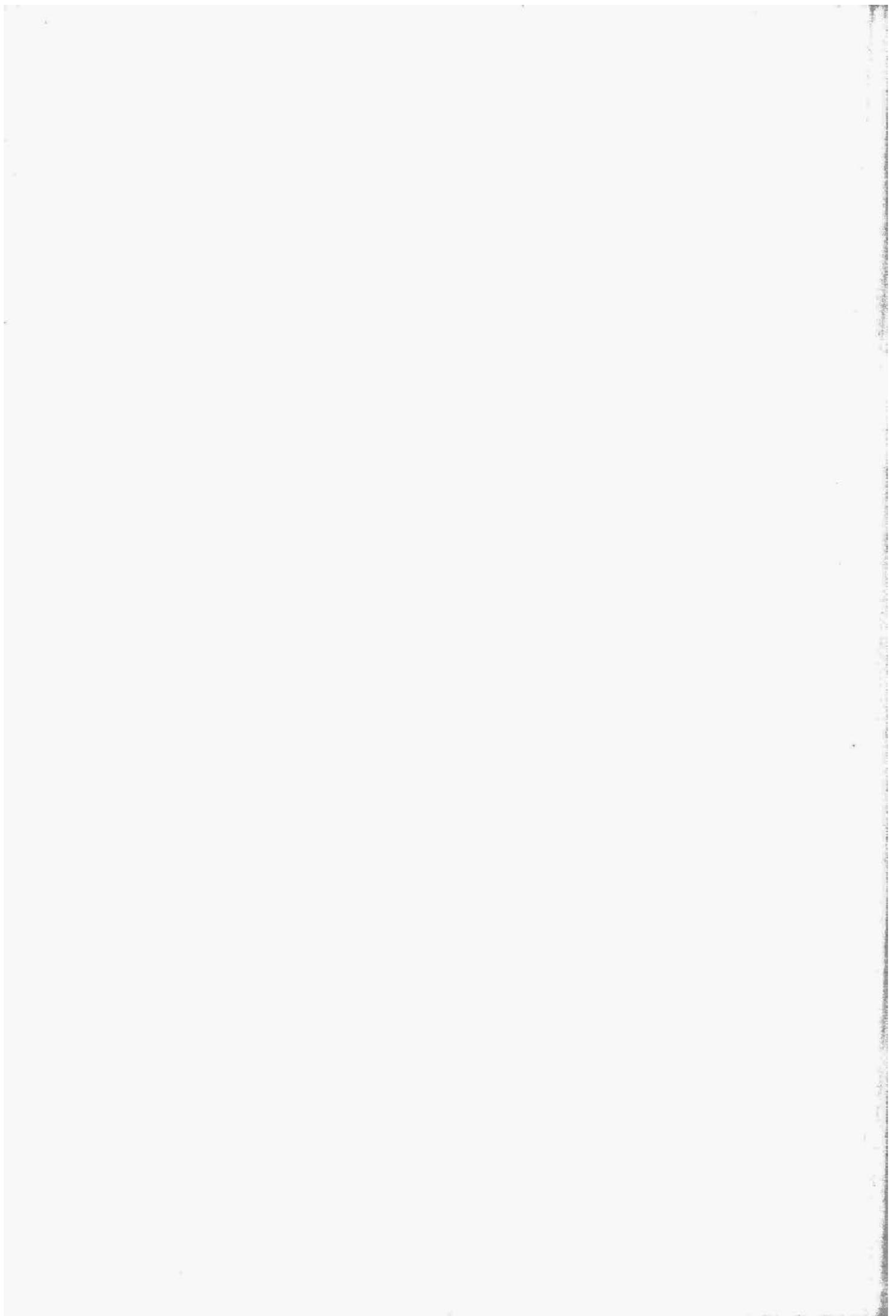
La importancia radiológica de los resultados anteriores se muestra a través de los correspondientes valores dosimétricos derivados de los datos experimentales: actividad incorporada de Pu-239 tipo M 5 μm (seleccionado como estándar) de 1126 Bq/día, es decir 36 mSv. Esto indica que, en casos especiales, puede utilizarse la técnica. Teniendo en cuenta que los valores se calcularon con los más bajos rendimientos obtenidos, resulta aceptable su uso en forma rutinaria. Sin embargo, en ese caso se deberían establecer algunas condiciones tales como la frecuencia del muestreo, el volumen de la muestra, los isótopos y su forma química, todo lo cual se decidiría en forma conjunta con la instalación a controlar.

Conclusiones

La articulación de los enfoques de calidad, con los criterios claros y definidos de protección radiológica y con el método radioquímico, dio como resultado metodologías de validación transferibles a otras técnicas similares, y fundamentalmente, un método indirecto de monitoreo de trabajadores expuestos a una posible incorporación de isótopos de plutonio, que provee datos confiables y seguros, con evidencias objetivas, que se implementó como parte del programa de protección radiológica en la Comisión Nacional de Energía Atómica.

Referencias

- ALTSHULER, B.; PASTERNAK, B. (1963) Health Physics 9, 293.
- BOQUÉ, R.; MAROTO, A.; RIV, J.; RIUS, F. (2002) Grasas y Aceites 53, 128.
- CURRIE, L. A. (1972) Nucl. Inst. Meth. 387.
- CURRIE, L. A. (1968) Anal. Chem. 40, 586.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. NACHWEISGRENZE UND ERKENNUNGSGRENZE BEI KERNSTRAHLUNGSMESSUNGEN (1992) DIN 25 482
- DOE (1998) Guide of Good Practices for Occupational Radiological Protection in Plutonium Facilities. DOE- STD- 1128-98.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (1998) Safe Handling and Storage of Plutonium. Safety Reports Series N° 9, IAEA, Vienna, Austria.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (1999) Assessment of Occupational Exposure due to Intakes of Radionuclides. Safety Standards Series, Safety Guide N RS-6-1.2, IAEA, Vienna, Austria.
- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (1997-2001) Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers. Publication 78. Replacement of ICRP Publication 54-1988. Pergamon Press, Oxford.
- IRAM (2000) Requisitos generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y de Calibración. IRAM 301:2000, Guía ISO/IEC 17025 (1999).
- INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION (1994) Determination of the Lower Limits of Detection and Decision for Ionizing Radiation Measurements. Part 1, 2, 3. ISO/11929.
- KNOLL, G. F. (1989) Radiation Detection and Measurement, 2nd. Ed. John Wiley & Sons, New York.
- L'ANNUNZIATA, M. (1998) Handbook of Radioactivity Analysis. Chapter I, L'Annunziata, M.; Chapter III, Fettweis, P.; Schwenn, H.; Chapter IV, L'Annunziata, M.; Kessler, M.; Chapter V, Cook, G.; Passo, C.; Carter, B.; Academic Press.
- LUCIANI, A. (2002) Plutonium Biokinetics in Human Body, Hauptabteilung Sicherheit, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe.
- LONG, G.; WINEFORDNER, J. (1983) Anal. Chem. 55 712.
- MIURA, T.; OIKAWA, S.; BANBA, S.; MORIMOTO, T. (2001) J. Radioanal. Nucl. Chem. 250, 449.
- PRASAD, M. V. (2000) J. Radioanal. Nucl. Chem. 246, 719.
- RUCKER, T. L. (2001) J. Radioanal. Nucl. Chem. 248, 191.
- TALVITIE, N. A. (1972) Anal. Chem. 44, 280.
- VERA TOMÉ, F.; JURADO VARGAS, M.; MARTÍN SÁNCHEZ, A. (1994) Appl. Radiat. Isot. 45, 449.



La caracterización del espectro neutrónico en un reactor nuclear y la determinación de datos nucleares

M. A. Arribére^{1,2,5}, I. M. Cohen³, A. J. Kestelman^{1,2},
S. Ribeiro Guevara¹, M. Arrondo³, M. C. Fornaciari Iljadica⁴

¹ Comisión Nacional de Energía Atómica, Centro Atómico Bariloche;

² Universidad Nacional de Cuyo, Instituto Balseiro, Avenida Bustillo km. 9,7 (8400) Río Negro, Argentina.

³ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Química. Avenida Medrano 951, Buenos Aires (C1179AAQ), Argentina.

⁴ Comisión Nacional de Energía Atómica, Centro Atómico Ezeiza. Unidad de Actividad Radioquímica y Química de las Radiaciones, Presbítero González y Aragón N°15, (B1802AYA) Ezeiza, Pcia. Bs. As., Argentina.

⁵E-Mail: arribere@cab.cnea.gov.ar

Resumen

Se discute la influencia de la caracterización del espectro de neutrones en diferentes posiciones de irradiación de un reactor nuclear en la determinación de datos nucleares confiables. Se describen las experiencias efectuadas en el reactor RA-6, del Centro Atómico Bariloche, perteneciente a la Comisión Nacional de Energía Atómica, para la caracterización de las componentes rápida y epitérmica del espectro neutrónico y los trabajos realizados en la determinación de constantes nucleares de activación.

Abstract

The influence of the characterization of the neutron spectrum at different irradiation positions of a nuclear reactor on the determination of reliable nuclear data is discussed. The experiments carried out at the RA-6 reactor of Centro Atómico Bariloche (Comisión Nacional de Energía Atómica), for the characterization of the fast and epithermal components of the neutron spectrum are described, and also the work performed in connection with the determination of activation nuclear constants.

Introducción

Aun cuando los reactores nucleares son las instalaciones de irradiación preferentemente usadas en la producción de radioisótopos a escalas de laboratorio e industrial y en análisis por activación, se observa, en relación con muchas reacciones inducidas en la región de neutrones rápidos y, en menor medida, en la de neutrones epitérmicos, una llamativa escasez, y en ocasiones ausencia, de los datos nucleares pertinentes, específicamente, valores de secciones eficaces promediadas sobre un espectro de fisión e integrales de resonancia. Esta situación, que explica la necesidad de desarrollar métodos de determinación destinados a remediar estas carencias, es sólo uno de los problemas vinculados a la selección de datos nucleares de activación; el otro hecho significativo, en los casos de reacciones más estudiadas, es la generalizada dispersión de buena parte de los valores publicados para las constantes mencionadas.

La ausencia de valores confiables, obtenidos por consenso a partir de la concordancia entre mediciones realizadas por distintos laboratorios, tiende a desorientar al usuario, quien se encuentra en un estado de cierta indefensión ante la necesidad de elegir entre datos divergentes (Cohen y Furnari, 1999). Más allá de la costumbre, difundida entre muchos compiladores de datos, de mezclar en forma indiscriminada valores experimentales con otros surgidos de evaluación o cálculo, la realidad demuestra que aún preservando únicamente a los primeros las diferencias siguen siendo grandes. Entre las causas que motivan la dispersión de valores publicados para una misma constante se encuentran:

1. Utilización de conjuntos de datos de entrada (por ejemplo, masas atómicas relativas, abundancias isotópicas, probabilidades de emisión, secciones eficaces para neutrones térmicos) no consistentes.
2. Diversidad de reacciones nucleares en la estandarización, que representan términos de referencia no coincidentes para las determinaciones originadas en diferentes laboratorios. Adicionalmente, la observación formulada en el acápite anterior es válida para los datos relacionados con las reacciones nucleares estándar.
3. Falta de actualización de los conjuntos de datos de entrada, tanto para la reacción en estudio como para la reacción estándar, cuando los valores empleados históricamente son luego reemplazados por otros más confiables. Esta reconversión de los valores publicados a partir de un nuevo conjunto de datos de entrada (renormalización) sólo puede efectuarse si la trazabilidad del valor en cuestión se preserva adecuadamente (Furnari y Cohen, 1998).
4. Estimación "optimista" de la incertidumbre asociada a muchas determinaciones, donde no se evalúan correctamente todas las fuentes de incertidumbre individuales. De esta forma, datos que tendrían algún grado de solapamiento pasan a ser, desde el punto de vista estadístico, diferentes.
5. Adopción de diferentes convenciones para la expresión del flujo neutrónico, sin la aclaración pertinente, que inciden en las características de la constante medida. Así, por ejemplo, bajo la denominación común "integral de resonancia", se engloban valores de integrales de resonancia absoluta y reducida (que tiene en cuenta sólo los picos de resonancia), medidas a partir de la energía de empalme entre las componentes térmica y epitérmica, o bien a partir de la energía de corte de cadmio (el concepto de energía de corte de cadmio será explicado más adelante); ésta, a su vez, se considera, según los diferentes autores, igual a 0,5 eV o 0,55 eV, o aún a otros valores.
6. Ausencia de adecuada caracterización del espectro neutrónico en la posición del reactor usada para la irradiación. De esta forma, valores válidos para un espectro en particular asumen, en la posterior publicación y su inclusión en tablas, un carácter supuestamente universal, obviamente erróneo.

El usuario del dato nuclear puede disponer de cierto control acerca de los primeros cinco factores. Si bien el proceso es indudablemente tedioso, la consulta de las fuentes primarias permite conocer procesos y datos de entrada. Sobre esta base, el mismo usuario podrá efectuar la renormalización o incluso rechazar al valor cuando la información conexas no sea debidamente suministrada. En cambio, la caracteriza-

ción de la posición de irradiación es patrimonio y responsabilidad del generador del dato; si ésta no se efectúa o es incorrecta, un valor erróneo se sumará a los existentes.

El presente trabajo da cuenta de las experiencias realizadas para la caracterización de las componentes epitérmica y rápida del espectro neutrónico en diferentes posiciones del reactor RA-6, del Centro Atómico Bariloche. A partir de los resultados, se describirán algunos trabajos de determinación de datos nucleares de activación y su aplicación.

Convenciones y Fórmulas

No existe una expresión matemática única para describir al espectro neutrónico total de un reactor. Las convenciones propuestas efectúan la división, con límites más o menos variables, en tres regiones: la de neutrones térmicos, asociada en general a los mayores flujos, y las de neutrones epitérmicos y rápidos.

Se acepta para el flujo térmico una descripción basada en una distribución maxwelliana; no se hará mención adicional para esta componente, que no ha sido en este trabajo objeto de caracterización especial, pues existen suficientes datos de secciones eficaces para las reacciones inducidas con neutrones de este rango de energías.

Los neutrones rápidos creados por un proceso de fisión y que no interactuaron aún con el moderador presentan el espectro característico del nucleido que fisiona. En el caso del ^{235}U , el combustible más frecuente en los reactores nucleares, la distribución ha sido exhaustivamente estudiada. Las representaciones más utilizadas emplean funciones semiempíricas del tipo:

$$\Phi_r(E) = \int_0^\infty \phi_r \chi(E) dE$$

donde $\Phi_r(E)$ es el flujo de neutrones rápidos en función de la energía, ϕ_r una constante y $\chi(E)$ es la distribución normalizada de los neutrones.

Las reacciones nucleares en esta zona del espectro sólo ocurren cuando la energía de los neutrones supera un valor mínimo, E_u (energía umbral). El umbral energético depende del balance de masas de átomos y partículas y, en los casos que involucran la emisión de una partícula cargada, como en el de las reacciones (n,p) y (n,α) , de la altura de la barrera coulombiana.

La tasa de producción (por núcleo) de un nucleido a partir de una reacción umbral se expresa según:

$$R_u = \int_0^\infty \sigma_r(E) \Phi_r(E) dE$$

$\sigma_r(E)$ es la sección eficaz diferencial y $\Phi_r(E)$ la distribución del flujo de neutrones rápidos. Ambas funciones son en general complicadas y muchas veces no conocidas con exactitud, por cuya razón se define como referencia una sección eficaz integral, promediada sobre el espectro de fisión del ^{235}U :

$$\bar{\sigma}_r = \frac{\int_0^\infty \sigma_r(E) \Phi_r^f(E) dE}{\int_0^\infty \Phi_r^f(E) dE} = \frac{\int_0^\infty \sigma_r(E) \chi(E) dE}{\int_0^\infty \chi(E) dE} = \int_0^\infty \sigma_r(E) \chi(E) dE \quad (1)$$

donde Φ_r^f es la distribución de energías de neutrones provenientes de la fisión del ^{235}U . En el estudio de las secciones eficaces integrales de las reacciones umbral se define también un parámetro conocido como "energía umbral efectiva", E_{uef} , que surge de considerar a la sección eficaz diferencial como una función escalón, de valor σ_{ef} a partir de esta energía. Así,

$$\begin{aligned} \sigma(E) &= 0 & \text{si} & \quad E < E_{uef} \\ \sigma(E) &= \sigma_{ef} & \text{si} & \quad E \geq E_{uef} \end{aligned}$$

con la condición:

$$\int_{E_u}^{\infty} \sigma_r(E) \chi(E) dE = \sigma_{ef} \int_{E_{uef}}^{\infty} \chi(E) dE$$

La energía umbral efectiva no tiene significado físico exacto, pero da idea acerca del rango de energías de los neutrones que contribuyen mayoritariamente a la formación del isótopo activado. Por ejemplo, la reacción $^{54}\text{Fe}(n,\alpha)^{51}\text{Cr}$ tiene energía umbral, de acuerdo al balance de masas, igual a 0,843 MeV (reacción exoérgica) pero el umbral efectivo es 9,1 MeV, pues se requiere energía adicional para que la partícula cargada pueda salir del núcleo. De esta forma, E_{uef} es un umbral más realista, pues tiene en cuenta la barrera coulombiana y la distribución en energía de los neutrones incidentes.

La representación del flujo neutrónico en la zona epitérmica se supone, en su forma ideal, proporcional a la inversa de la energía (Westcott y colaboradores, 1958; Stoughon y Halperin, 1959). La fórmula corrientemente empleada para su descripción es:

$$\Phi_e(E) = \frac{\phi_{epi}}{E} \Delta(E)$$

Donde ϕ_{epi} es una constante y $\Delta(E)$ una función escalón que define el empalme entre la región térmica y la epitérmica, según:

$$\begin{aligned} \Delta(E) &= 0 & \text{si} & \quad E < \mu kT \\ \Delta(E) &= 1 & \text{si} & \quad E \geq \mu kT \end{aligned}$$

μ es una constante empírica, cuyo valor es 4 para reactores moderados con agua, k la constante de Boltzmann y T la temperatura de la distribución.

Los neutrones epitérmicos, al igual que los térmicos, inducen las reacciones (n,γ) , conocidas como reacciones de captura radiante, o simplemente de captura. Cuando se dividen las componentes térmica y epitérmica del flujo, la tasa de reacción por núcleo para estas reacciones puede expresarse, de acuerdo a la convención de Högdahl (1962), según:

$$R_{cap} = \int_0^{\infty} \sigma(E) \Phi_t(E) dE + \int_{E_{Cd}}^{\infty} \sigma(E) \Phi_e(E) dE$$

donde E_{Cd} , ligeramente superior a la energía de empalme μkT , es la energía de corte de cadmio, absorbedor de neutrones térmicos frecuentemente utilizado para inducir activación puramente epitérmica. La división planteada, válida sólo cuando no existen resonancias entre las energías correspondientes a μkT y E_{Cd} , representa de hecho el establecimiento de regiones "subcádmica" y "epicádmica", antes que térmica y epitérmica. El valor numérico de la primera de las integrales es:

$$\int_0^{\infty} \sigma(E) \Phi_t(E) dE = \sigma_0 \phi_s$$

siendo σ_0 la sección eficaz a la velocidad del neutrón de 2200 m.s⁻¹, velocidad más probable para una distribución de Maxwell a T = 293,2 K, y ϕ_s el flujo subcádmico.

Considerando un flujo epitérmico ideal y definiendo:

$$I_0 = \int_{E_{Cd}}^{\infty} \frac{\sigma(E)}{E} dE$$

la segunda integral se expresa en la forma:

$$\int_{E_{Cd}}^{\infty} \sigma(E)\Phi_e(E)dE = I_0\phi_{epi}$$

I_0 es la integral de resonancia, cuyos valores aparecen en la literatura consignados a partir de límites inferiores diversos, según sea el espesor de cadmio considerado, e inclusive a partir de la energía de empalme μkT , que también es variable según el tipo de reactor. Se adoptará aquí, como límite inferior, $E_{Cd} = 0,55$ eV, que corresponde a la absorción de neutrones por una cubierta de cadmio de 1 mm de espesor.

La fórmula que describe al flujo epitérmico, idealmente proporcional a la inversa de la energía, no expresa del todo correctamente la situación real, donde los elementos estructurales causan distorsión en el espectro. Ryves (1969) propone, para describir el fenómeno, una dependencia del tipo $E^{1+\alpha}$, donde α es una constante empírica, cuyo valor se encuentra en general comprendido entre -0,1 y +0,1, de acuerdo a las características del reactor y a la posición de irradiación.

La inclusión del parámetro α convierte a la expresión de la integral de resonancia en:

$$I_0(\alpha) = \int_{E_{Cd}}^{\infty} \frac{\sigma(E)}{E^{1+\alpha}} 1eV^\alpha dE$$

(El término $1eV^\alpha$ aparece por la necesidad de incluir una energía de referencia; por razones de comodidad, ésta se toma arbitrariamente igual a la unidad). La fórmula que vincula a las integrales de resonancia $I(\alpha)$ e I_0 resulta:

$$I_0(\alpha) = \left[\frac{I_0 - 2(E_0/E_{Cd})^{1/2}\sigma_0}{(\bar{E}_r)^\alpha} + \frac{2(E_0/E_{Cd})^{1/2}\sigma_0}{(2\alpha + 1)E_{Cd}^\alpha} \right] \cdot 1eV^\alpha \quad (2)$$

E_0 es la energía de referencia de la distribución térmica y \bar{E}_r es la llamada energía media de resonancia, característica de cada nucleido, que por cálculo corresponde a una energía virtual equivalente a la suma ponderada de todas las resonancias. Cuando la energía de referencia es 0,025 eV (energía correspondiente a la velocidad más probable para una distribución de neutrones térmicos a T = 293, 2 K) y la energía de corte de cadmio es 0,55 eV, la expresión numérica pasa a ser:

$$I_0(\alpha) = \left[\frac{I_0 - 0,429\sigma_0}{(\bar{E}_r)^\alpha} + \frac{0,429\sigma_0}{(2\alpha + 1)0,55^\alpha} \right] \cdot 1eV^\alpha$$

Algunos autores (Jovanovic y colaboradores, 1985; De Corte y Hoste, 1989) han sostenido la importancia de considerar las desviaciones del comportamiento ideal del flujo epitérmico en el análisis por acti-

vación paramétrico, donde los cálculos se realizan a partir de las relaciones entre las actividades de los nucleidos de interés y comparadores simples¹, a través de sus constantes nucleares. Por otro lado, Montoya y colaboradores (1999) demostraron que los errores son fuertemente dependientes del comparador elegido, con lo cual no es imprescindible en análisis por activación contar con el valor de α .

No obstante, el aspecto más relevante, prácticamente soslayado o no tenido en cuenta, es que la adopción de la nueva expresión para la descripción de la componente epitérmica del flujo implica que los valores de las constantes nucleares obtenidos en un reactor no son inmediatamente aplicables a otros, y ni siquiera lo son los medidos en una posición específica de un reactor con respecto a las otras. Así, muchos de los datos de integrales de resonancia y cocientes Q_0 (integral de resonancia/sección eficaz) existentes en la literatura serían cuestionables, en tanto no se haya caracterizado adecuadamente el espectro en la posición de irradiación.

El reactor RA-6 y la caracterización de sus posiciones de irradiación

El reactor RA-6 es un reactor de tipo piletta, de 500 kW de potencia. El flujo térmico máximo, que depende de la configuración particular del núcleo, varía entre $\sim 10^{13} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ en la parte central a $\sim 2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ en la periferia. El flujo rápido en el núcleo es aproximadamente $3 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. El núcleo, de configuración variable, está formado por elementos combustibles de tipo MTR (Material Testing Reactor) y la refrigeración se realiza con agua natural desmineralizada, que hace también las veces de moderador.

Existen tres tipos de posiciones de irradiación: la columna térmica, los conductos de irradiación y las posiciones de acceso directo.

La columna térmica está constituida por bloques de grafito. Una parte se encuentra dentro del tanque del reactor (columna térmica interna, CTI) y la otra fuera (columna térmica externa, CTE). La CTI tiene accesos para el sistema neumático de transferencia de muestras y está en contacto con la grilla y la CTE tiene cinco conductos con tapones de grafito con espacios portamuestras.

Los conductos de irradiación son cinco; tres de ellos nacen en el tanque del reactor y atraviesan el blindaje de hormigón que rodea dicho tanque, los dos restantes, para acceder a flujos mayores, nacen en la grilla y atraviesan el tanque y el blindaje de hormigón.

Las posiciones de acceso directo son las cajas de irradiación, el sistema neumático y las espadas que penetran entre las placas de los elementos combustibles. Las cajas de irradiación son cajas vacías, idénticas a las que contienen a los elementos combustibles.

En el Reactor RA-6 es posible medir con precisión los tiempos de irradiación usando alguna de las posiciones en las que están ubicados los cabezales del sistema neumático. Hasta 1996, las posiciones disponibles eran dos, una ubicada en la columna térmica interna (CTI) y la otra en la periferia del núcleo (D8) que ya había sido empleada para la determinación de secciones eficaces (Salas Bacci, 1991; Furnari y colaboradores, 1994; Cohen y colaboradores, 1996a). A partir de la realización de un trabajo más amplio, que involucraba la medición de secciones eficaces de reacciones umbral inducidas sobre elementos livianos (Arribére, 1997), se colocó un cabezal del sistema neumático en una caja de irradiación (F5) del centro del núcleo. De esta forma fue posible comparar las desviaciones del flujo rápido, con respecto a un espectro de fisión, en esta última posición y en D8.

La tasa de activación por núcleo con neutrones de fisión, para una reacción umbral, está dada por:

$$R_u = \int_0^{\infty} \sigma_r(E) \Phi_r^f(E) dE = \int_0^{\infty} \sigma_r(E) \phi_r \chi(E) dE = \bar{\sigma}_r \phi_r \int_0^{\infty} \chi(E) dE = \bar{\sigma}_r \phi_r$$

¹ Comparador es un elemento que posee al menos un isótopo con características nucleares favorables y puede ser empleado con fines de estandarización. La masa incógnita se determina a partir de la relación entre la actividad inducida sobre el elemento investigado y la inducida en el comparador.

Las igualdades anteriores son válidas para un flujo de neutrones de fisión y con la sección eficaz definida por la ecuación (1). El límite inferior de integración de las dos primeras integrales no es cero, formalmente, sino que es el correspondiente a la energía umbral de la reacción, pero de acuerdo a la definición $\bar{\sigma}_r$, sí lo es en la tercera. A partir de esta ecuación es posible calcular ϕ_r según:

$$\phi_r = \frac{C \lambda t_m PA}{m \theta N_A i_E a_E \epsilon_E \bar{\sigma}_r (1 - e^{-\lambda t_i}) e^{-\lambda t_d} (1 - e^{-\lambda t_m})}$$

donde

C: velocidad de conteo (N° de cuentas netas del pico medido dividido por el tiempo vivo de medición)

λ : constante de desintegración del radionucleido

PA: masa atómica relativa del elemento

m: masa del elemento presente en la muestra

θ : abundancia isotópica del precursor de la irradiación

N_A : número de Avogadro

i_E : probabilidad de emisión de la radiación medida

a_E : factor de atenuación de la radiación medida

ϵ_E : eficiencia del detector, para la energía de la radiación medida y la distancia de medición

$\bar{\sigma}_r$: sección eficaz, promediada sobre un espectro de fisión, para la reacción considerada

t_i : tiempo de irradiación

t_d : tiempo de decaimiento

t_m : tiempo real de medición

Un modo de verificar que el espectro corresponde a uno de fisión es medir " ϕ_r " mediante una serie de reacciones que presentan diferentes umbrales (" ϕ_r " se expresa entre comillas, puesto que ha sido definido para un flujo de fisión y debería ser invariante; las diferencias aparecen cuando se hacen cálculos usando esta hipótesis y la misma no se cumple).

Tanto en D8 como en F5 se irradiaron monitores de flujo rápido de energías umbral efectivas (E_{uef}) comprendidas entre 2,6 MeV y 11,6 MeV mediante el sistema neumático de transferencia de muestras al núcleo. Las reacciones consideradas se presentan en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Reacciones umbral utilizadas para caracterizar el flujo rápido

Material	Reacción	Periodo del Producto	E_{uef} [MeV]	$\bar{\sigma}_r$ [mb]
Níquel	$^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$	$70,82 \pm 0,03$ d	$2,60^1$	111 ± 3
Hierro	$^{54}\text{Fe}(n,p)^{54}\text{Mn}$	$312,0 \pm 0,1$ d	$2,80^1$	$81,7 \pm 2,2$
Titanio	$^{46}\text{Ti}(n,p)^{46}\text{Sc}$	$83,81 \pm 0,01$ d	$4,40^1$	$11,8 \pm 0,4$
Molibdeno	$^{92}\text{Mo}(n,p)^{92m}\text{Nb}$	$10,15 \pm 0,02$ d	$6,00^2$	$7,3 \pm 0,4$
Aluminio	$^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$	$14,959 \pm 0,001$ d	$6,70^1$	$0,720 \pm 0,025$
Titanio	$^{48}\text{Ti}(n,p)^{48}\text{Sc}$	$1,8208 \pm 0,0042$ d	$6,90^1$	$0,307 \pm 0,011$
Cobalto	$^{59}\text{Co}(n,\alpha)^{56}\text{Mn}$	$2,5785 \pm 0,0002$ h	$7,00^1$	$0,161 \pm 0,007$
Niobio	$^{93}\text{Nb}(n,2n)^{92m}\text{Nb}$	$10,15 \pm 0,02$ d	$10,0^1$	$0,48 \pm 0,04$
Manganeso	$^{55}\text{Mn}(n,2\alpha)^{54}\text{Mn}$	$312,0 \pm 0,1$ d	$11,6^2$	$0,258 \pm 0,013$

¹ Baard y colaboradores, 1989;j48 ² Horibe, 1983

Las características y los parámetros nucleares de los materiales usados como monitores de flujo, así como los detalles experimentales de las determinaciones y los cálculos de los flujos y sus incertidumbres pue-

den ser consultados en el trabajo de Arribére (1997). Los resultados están indicados en la Tabla 2 y en las Figuras 1 y 2.

Tabla 2. Resultados de las mediciones de flujos rápidos en las posiciones de irradiación D8 y F5 del Reactor RA-6.

Reacción	Umbral Efectivo [MeV]	ϕ_r en D8 [$10^{11} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$]	ϕ_r en F5 [$10^{12} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$]
$^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$	2,60	$6,16 \pm 0,41$	$1,874 \pm 0,067$
$^{54}\text{Fe}(n,p)^{54}\text{Mn}$	2,80	$5,95 \pm 0,45$	$1,875 \pm 0,119$
$^{46}\text{Ti}(n,p)^{46}\text{Sc}$	4,40	$6,55 \pm 0,32$	$1,836 \pm 0,082$
$^{92}\text{Mo}(n,p)^{92m}\text{Nb}$	6,00	$6,83 \pm 0,64$	$1,92 \pm 0,14$
$^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$	6,70	$6,80 \pm 0,32$	$1,896 \pm 0,079$
$^{48}\text{Ti}(n,p)^{48}\text{Sc}$	6,90	$6,66 \pm 0,35$	$1,867 \pm 0,087$
$^{59}\text{Co}(n,\alpha)^{56}\text{Mn}$	7,00	$7,08 \pm 0,42$	-
$^{93}\text{Nb}(n,2n)^{92m}\text{Nb}$	10,0	$6,98 \pm 0,66$	$1,93 \pm 0,19$
$^{55}\text{Mn}(n,2n)^{54}\text{Mn}$	11,6	$7,61 \pm 0,78$	$1,91 \pm 0,19$

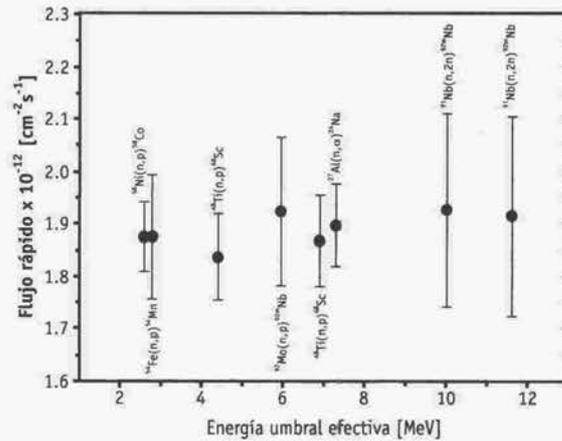


Figura 1: Flujo rápido medido en la posición de irradiación F5.

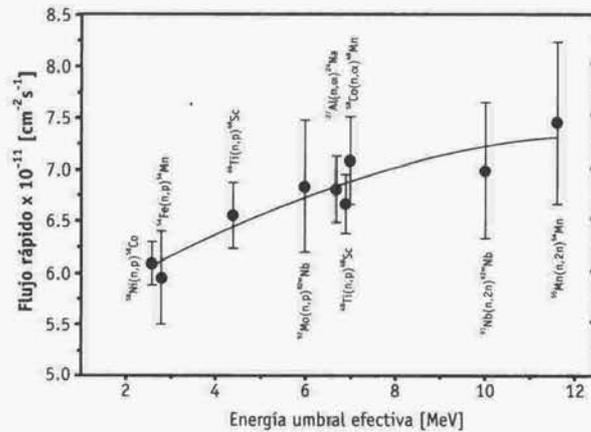


Figura 2: Flujo rápido medido en la posición de irradiación D8.

Los valores de ϕ_r obtenidos en F5 coinciden dentro de las incertidumbres y se puede observar que todos los datos experimentales están comprendidos dentro de la incertidumbre del valor calculado

con la reacción sobre níquel. En D8, aunque la incertidumbre de los resultados para las reacciones de mayor umbral es grande (debido en buena parte a la incertidumbre en la sección eficaz) se nota una tendencia al aumento de ϕ_r con el incremento del umbral. La desviación entre los valores obtenidos con las reacciones de mínimo y máximo umbral, es de aproximadamente 20%. Esta diferencia se da en casos extremos y es posible comparar tasas de producción de reacciones con neutrones rápidos utilizando monitores con energías umbral similares a la de la reacción de interés. Para fines analíticos la posición de irradiación es aceptable, siempre que se tomen las precauciones correspondientes. No obstante, la posición F5, aún considerando la necesidad de cambiar el cabezal de irradiación para cada una de las determinaciones y la limitación del tiempo de irradiación que impone el alto flujo térmico en el núcleo, es la más adecuada para la determinación de secciones eficaces de reacciones umbral.

La posibilidad de caracterización del flujo epitérmico en las posiciones de irradiación del reactor RA-6 para la determinación de las constantes nucleares de activación se encontró durante varios años limitada por las dificultades que representaba la medición del parámetro α . Los métodos publicados (De Corte y colaboradores, 1981; Cohen y colaboradores, 1996b) son engorrosos y requieren la irradiación de al menos tres monitores de flujo o, alternativamente, dos monitores irradiados en condiciones diferentes: bajo el espectro neutrónico completo y utilizando exclusivamente la componente epitérmica, mediante absorbedores de cadmio. Adicionalmente, y dependiendo del procedimiento adoptado, la precisión de los resultados es regular o muy pobre y sólo puede ser aceptable para las correcciones aplicables en análisis por activación.

Un desarrollo reciente (Cohen y colaboradores, 2005a) demostró que, para algunos nucleidos específicamente seleccionados, α puede determinarse en forma simple, a través de una única irradiación de dos monitores bajo cobertura de cadmio, con muy buena precisión. Sobre esta base, el estudio teórico permitió seleccionar al par $^{96}\text{Zr} - ^{198}\text{Au}$ para efectuar las mediciones de este parámetro.

La Tabla 3 muestra los valores de las mediciones de α determinados en la posición F5, del núcleo del reactor, mientras que en la Tabla 4 se encuentran los valores correspondientes a una posición periférica, I6.

Tabla 3. Determinación de α en la posición F5 del reactor RA-6

Medición	Fecha	Valor	Promedio
1	11-08-2004	-0,0214	
2	20-10-2004	-0,0233	-0,0233 \pm 0,0029
3	18-11-2004	-0,0255	
4	19-11-2004	-0,0231	

A lo largo de varios meses de seguimiento, los resultados indican una significativa constancia, que tendería a demostrar que α en una posición de irradiación depende solamente de la configuración particular del núcleo del reactor, en contra de la opinión de Bode y colaboradores (1992) quienes sostienen que tanto este parámetro como f (relación entre flujos térmico y epitérmico) pueden variar sustantivamente entre irradiaciones.

Los valores de α , pequeños en valor absoluto, muestran que las características de ambas posiciones de irradiación son enteramente favorables para la determinación de datos nucleares relacionados con la activación epitérmica.

Como resulta lógico suponer, las diferencias entre $I_0(\alpha)$ y $Q_0(\alpha)$ con respecto a I_0 y Q_0 , cuyos valores son los que deben determinarse para que su carácter sea universal, son menores cuanto menor sea el valor de α . En este caso, las diferencias menores implican incertidumbres más bajas, por propagación de errores, en los datos finales.

Tabla 4. Determinación de α en la posición I6 del reactor RA-6

Medición	Fecha	Valor	Promedio
1	17-08-2004	0,0254	
2	22-10-2004	0,0283	0,0267 \pm 0,0015
3	29-10-2004	0,0265	

La determinación de constantes nucleares y sus aplicaciones

Las reacciones umbral inducidas en los reactores nucleares tienen importancia en diversos campos de la tecnología nuclear. En análisis por activación implican: a) opciones de determinación para los elementos en los que las reacciones de captura presentan problemas de detección de sus productos, o son directamente no aplicables; b) interferencias para las reacciones de captura, cuando conducen al mismo radionucleido; c) alternativas de validación de los métodos basados en las reacciones de captura. Las reacciones umbral tienen también aplicación en la producción de trazadores: a partir de reacciones (n,p) y (n, α), principalmente, es posible obtener radionucleidos con alta actividad específica. En tecnología de reactores, reacciones de diferentes umbrales se emplean, con el auxilio de técnicas de deconvolución, en la determinación de la forma del espectro de neutrones rápidos.

La evaluación de cualquier reacción umbral depende del conocimiento de su sección eficaz, promediada sobre un espectro de fisión. En el Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica del Centro Atómico Bariloche se han efectuado, a partir de la caracterización del flujo rápido en las posiciones de irradiación, numerosas determinaciones de estas secciones eficaces para reacciones de interés donde los datos eran escasos o no existentes. La metodología general aplicada ha sido descrita en trabajos anteriores (Arribére, 1997; Suárez y colaboradores, 1997a y 1997b; Ribeiro Guevara, 2001). Los campos de aplicación y la nómina, con carácter no excluyente, comprenden:

- **Aplicaciones analíticas:** determinaciones para la utilización del germanio como monitor de flujo integral (Furnari y Cohen, 1994; Furnari y colaboradores, 1994; Cohen y colaboradores, 1996a; Furnari y colaboradores, 1996; Furnari y colaboradores, 1997); evaluación de reacciones umbral inducidas sobre elementos livianos para el desarrollo de métodos de validación y cálculo de interferencias (Arribére, 1997; Arribére y colaboradores, 1999 y 2000); evaluación de interferencias por reacciones umbral sobre elementos de transición (Salas Bacci, 1991; Suárez y colaboradores, 1997b).
- **Dosimetría neutrónica:** determinación de secciones eficaces para reacciones de alto umbral energético (Arribére y colaboradores, 2003).
- **Aspectos generales de la tecnología nuclear:** determinación de secciones eficaces de reacciones umbral inducidas sobre escandio (Suárez y colaboradores, 1997b); níquel (Arribére y colaboradores, 2001); zinc (Cohen y colaboradores, 2005b); determinación de secciones eficaces en pares isoméricos discriminando aportes entre estados (Ribeiro Guevara, 2001; Ribeiro Guevara y colaboradores, 2002).

Han sido ya mencionados los estudios previos destinados tanto a la caracterización del flujo epitérmico en reactores como a evaluar la influencia del parámetro α en análisis por activación (Cohen y colaboradores, 1996b; Montoya y colaboradores, 1997). La experiencia operativa del Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica, avalada por la participación en múltiples ejercicios internacionales de intercomparación de resultados analíticos, tiende a demostrar que no resulta específicamente necesaria la determinación de α cuando se usa el análisis sobre la base de la irradiación con flujos predominantemente térmicos y en las posiciones del reactor RA-6 corrientemente empleadas.

Las consideraciones anteriores no excluyen la necesidad de determinar datos nucleares más confiables

en la región epitérmica, sobre todo si se utiliza la activación exclusivamente con neutrones de ese rango de energías. A partir del desarrollo del nuevo método para la medición de α (Cohen y colaboradores, 2005) se ha podido demostrar que las características de las posiciones corrientemente empleadas son muy favorables para la determinación de integrales de resonancia y cocientes Q_0 . De las posiciones estudiadas, la posición F5 es la más conveniente, puesto que el flujo epitérmico es allí mayor en valor absoluto.

Tal como está indicado en la fórmula (2), la determinación de I_0 a partir de la medición de $I_0(\alpha)$ requiere el conocimiento de \bar{E}_r , la energía efectiva de resonancia. El método corrientemente empleado para la determinación de energías efectivas de resonancia fue desarrollado por Moens y colaboradores (1979), en el que se obtiene por cálculo, a través de los parámetros de resonancia del precursor, una expresión aproximada, únicamente válida para valores de \bar{E}_r bajos y/o α cercanos a cero. Sin embargo, no es ésta la principal objeción que puede plantearse al método, pues el problema principal radica en el hecho de que los parámetros de resonancia no pueden ser discriminados cuando existen estados isoméricos. En consecuencia, los valores actuales de energías efectivas de resonancia excluyen la posibilidad de su aplicación para los casos de activación que conducen a nucleidos metaestables, como así tampoco a los fundamentales cuando la contribución de la transición isomérica es menor que el 100 % o cuando el periodo del isómero no es mucho más corto que el de su hija.

Con el objeto de superar los inconvenientes mencionados en el párrafo anterior se está trabajando en el desarrollo de un método para la determinación experimental de \bar{E}_r (Segovia, 2005). Se proyecta, sobre la base de los valores medidos para \bar{E}_r con este nuevo método, determinar valores de integrales de resonancia y cocientes Q_0 para varias reacciones nucleares. Se encuentran entre ellas las que conducen al par isomérico $^{71m}\text{Zn} - ^{71}\text{Zn}$, para las cuales no hay datos publicados y sólo se dispone de valores de trabajo (Cohen y colaboradores, 2005b) y otras dos frecuentemente usadas en análisis por activación, $^{115}\text{In}(n,\gamma)^{116m1}\text{In}$ y $^{109}\text{Ag}(n,\gamma)^{110m}\text{Ag}$, donde se espera mejorar los valores existentes.

Conclusiones

La disponibilidad de datos nucleares de activación en reactores nucleares, que es insuficiente en muchos casos, debería ser sometida a exhaustiva revisión en aquellos otros casos donde existen valores publicados. En este estado de situación, es necesaria la generación de nuevos datos, de confiabilidad probada. El empleo de una rigurosa metodología, aplicada a todos los pasos de las determinaciones, y la adecuada caracterización del espectro de neutrones en la posición de irradiación elegida, son requisitos indispensables en la consecución de este objetivo.

Referencias

- ARRIBÉRE, M. A. (1997) Tesis Doctoral. Instituto Balseiro, Universidad Nacional de Cuyo, Argentina.
- ARRIBÉRE, M. A.; RIBEIRO GUEVARA, S.; KESTELMAN, A. J.; COHEN, I. M. (1999) *J. Radioanal. Nucl. Chem. Articles* 241, 25.
- ARRIBÉRE, M. A.; COHEN, I. M.; KESTELMAN, A. J.; RIBEIRO GUEVARA, S. (2000) *J. Radioanal. Nucl. Chem. Articles* 244, 417.
- ARRIBÉRE, M. A.; RIBEIRO GUEVARA, S.; SUAREZ, P. M.; KESTELMAN, A. J. (2001) *Nucl. Sci. Eng.* 139, 24.
- ARRIBÉRE, M. A.; RIBEIRO GUEVARA, S.; KOROCHINSKY, S. A.; BLOSTEIN, J.J.; KESTELMAN, A. J. (2003) *J. Radioanal. Nucl. Chem. Articles* 256, 505.
- BAARD, J. H.; ZIPJ, W. L.; NOLTHENIUS, H.J. (1989) *Nuclear Data Guide for Reactor Neutron Metrology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- BODE, P.; BLAAUW, M.; OBRUSNIK, I. (1992) *J. Radioanal. Nucl. Chem. Articles* 157, 301.
- COHEN, I. M.; KESTELMAN, A. J.; FURNARI, J. C.; ARIBÉRE, M. A. (1996a) *J. Radioanal. Nucl. Chem. Letters*, 212, 353.
- COHEN, I. M.; FURNARI, J. C.; MONTOYA, E. H.; ARIBÉRE, M. A.; KESTELMAN, A. J.; MENDOZA, P.; TORRES, B. (1996b) *Proc. Second International k0 Users Workshop*. Ljubljana, Slovenia, 30 September - 3 October.
- COHEN, I. M.; FURNARI, J. C. (1999) *Appl. Rad. Isotopes* 50, 743.
- COHEN, I. M.; ARRONDO, M.; ARIBÉRE, M. A.; FORNACIARI ILJADICA, M. C. (2005a) Enviado para su publicación en *Nucl. Sci. Eng.*
- COHEN, I. M.; RIBEIRO GUEVARA, S.; ARIBÉRE, M. A.; FORNACIARI ILJADICA, M. C.; KESTELMAN, A. J.; OHACO, R. A.; SEGOVIA, M. S.; YUNES, A. N. (2005b) enviado para su publicación en *Radiochimica Acta*.
- DE CORTE, F.; SORDO EL-HAMMAMI, K.; MOENS, L.; SIMONITS, A.; DE WISPELAERE, A.; HOSTE, J. (1981) *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 62, 209.
- DE CORTE, F.; HOSTE, J. (1989) *Isotopenpraxis* 25, 269.
- FURNARI, J. C.; COHEN, I. M. (1994) *Biological Trace Element Research* 43-5, 503.
- FURNARI, J. C.; COHEN, I. M.; KESTELMAN, A. J. (1994) *Appl. Rad. Isotopes* 45, 573.
- FURNARI, J. C.; COHEN, I. M.; ARIBÉRE, M. A.; KESTELMAN, A. J. (1997) *Proceedings of the 4th Meeting on Nuclear Applications (en CD ROM)*; Poços de Caldas, Brasil; 18 - 22 de agosto de 1997.
- FURNARI, J. C.; COHEN, I. M. (1998) *Appl. Rad. Isot.* 49, 1523.
- HÖGDAHL, O. T. (1962) *Rept. MMPP-226-1*.
- HORIBE, O. (1983) *Ann. Nucl. Energy* 10, 359.
- JOVANOVIĆ, S.; DE CORTE, F.; SIMONITS, A.; MOENS, L.; VUKOTIĆ, P.; ZEJNILOVIĆ, R.; HOSTE, J. (1985) *Proceedings of the First Balkan Conference on Activation Analysis*, p. 19 - 24. INIS - mf - 11126.
- MOENS, L.; DE CORTE, F.; SIMONITS, A.; DE WISPELAERE, A.; HOSTE, J. (1979) *J. Radioanal. Chem.* 52, 379.
- MONTOYA R, E. H.; COHEN, I. M.; MENDOZA HIDALGO, P.; TORRES CHAMORRO, B.; BEDREGAL SALAS P. (1999) *J. Radioanal. Nucl. Chem. Articles* 240, 475.
- RIBEIRO GUEVARA, S. (2001) Tesis Doctoral. Instituto Balseiro, Universidad Nacional de Cuyo, Argentina.
- RIBEIRO GUEVARA, S.; ARIBÉRE, M. A.; KESTELMAN, A. J. (2002) *J. Radioanal. Nucl. Chem. Articles* 254, 557.
- RYVES, T. B. (1969) *Metrologia* 5, 119.
- SALAS BACCI, A. (1991) Tesis de Maestría. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- SEGOVIA, M. S. (2005) Tesis de Maestría. Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina.
- STOUGHTON, R. W.; HALPERIN, J. (1959) *Nucl. Sci. & Eng.* 6, 100.
- SUAREZ, P. M.; ARIBÉRE, M. A.; RIBEIRO GUEVARA, S.; KESTELMAN, A. J. (1997a) *Nucl. Sci. Eng.* 127, 245.
- SUAREZ, P. M.; ARIBÉRE, M. A.; KESTELMAN, A. J.; COHEN, I. M. (1997b) *Radiochimica Acta* 78, 11.
- WESTCOTT, C. H.; WALKER, W. H.; ALEXANDER, T. K. (1958) *Proc. 2nd. Int. Conf. in Peaceful Uses of Atomic Energy - Geneva Vol. 16, Session A11*, p. 202; Vienna, IAEA.

Uso de internet para diseño y desarrollo de tecnologías cognitivas*

E. Gamondés, A. Bugallo, I. Casanovas, M. L. Jover,
F. Nápoli, S. Trentalance, M. P. Verde Rey

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires,
Departamento de Sistemas, Medrano 951 (C1179AAQ). Buenos Aires, Argentina
E-mail: gamondes@mail.retina.ar

Resumen

Este trabajo sintetiza la última etapa del proyecto de investigación surgido de experiencias realizadas en el aula en Ingeniería y Sociedad, Departamento de Sistemas de Información. Tales experiencias mostraban dificultades de los alumnos para emplear capacidades intelectuales requeridas a un estudiante universitario. El equipo planteó la búsqueda de una tecnología educativa que potenciara las capacidades del alumno y desarrollara sus habilidades cognitivas, incorporando el uso de Internet como fuente de datos y como recurso didáctico para el logro de los objetivos. Se diseñaron y evaluaron trabajos prácticos que integraron las ciencias sociales a la especialidad, orientados por teorías de Gardner, Perkins y Vigotsky, entre otras.

Abstract

This work summarizes the last stage of the research project which arose from classroom experience in Engineering and Society, Department of Informational Systems. Such experience showed that students have difficulties in employing the intellectual abilities required for university work. The team proposed a search for educational technology that would develop the students' skills and their cognitive ability, with Internet as a source of data and as a didactic resource to achieve the goals. The team also designed and evaluated reports which integrated social sciences into the speciality, following the theories of Gardner, Perkins, and Vigotsky, among others.

* Este trabajo fue presentado parcialmente como ponencia en la International Conference on Engineering and Technology Education en Santos, Brasil Marzo 2002; en el World Congress on Engineering and Technology Education en Guarujá, Brasil, Marzo 2004; en el Congreso Latinoamericano de Educación Superior, en San Luis, Rep. Argentina, Sept. 2003. Además, como aplicación de avances didácticos generados en el marco de la investigación, en el curso dictado por la Ingeniera Inés Casanovas sobre Project Management en la Universidad Jonkoping, Suecia. Enero-Marzo 2003.

Introducción

La asignatura Ingeniería y Sociedad pertenece al área de asignaturas homogéneas y complementarias del primer nivel del diseño curricular, de las carreras de ingeniería de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN). La formación complementaria debe apuntar a promover ingenieros conscientes de sus responsabilidades sociales y capaces de relacionar complejos y diversos factores en los procesos de diseño, evaluación de proyectos tecnológicos y toma de decisiones.

Es sabido que el estudiante ingresa a la universidad con un déficit de formación que se traduce en limitaciones de comprensión y de producción de textos, producto de la falta de hábitos de estudio y carencia de saberes, todo lo cual le dificulta reconocer conceptos, argumentos relevantes y sus relaciones. Esto se pone de manifiesto en la búsqueda, la selección, el análisis y la elaboración de información pertinente que le permita alcanzar aprendizajes propios del estudiante universitario.

Esta problemática y aquellas exigencias dieron origen a la investigación **“Uso de Internet para diseño y desarrollo de tecnologías educativas”** que estuvo radicada en el Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información de la Facultad Regional Buenos Aires (UTN), cuya síntesis final presentamos en este artículo. El trabajo experimental se realizó con los alumnos de la cátedra de Ingeniería y Sociedad de dicho departamento. La investigación partió de la reflexión sobre los objetivos de nuestra tarea docente ante las dificultades señaladas, y nos exigió diseñar y desarrollar nuevos trabajos prácticos a los que incorporamos el uso de Internet de un modo sistemático, con el propósito de generar aprendizajes y competencias propias del estudiante universitario que le faciliten el cursado de su carrera.

Marco teórico

¿Por qué proponer el uso de la Web para producir aprendizajes significativos? En primer lugar, el uso de Internet está extendido entre nuestros estudiantes y, en segundo lugar, Internet se nos presenta como un enorme vector de saberes individuales generosamente compartidos, caracterizado por la heterogeneidad, su extraoficialidad, el acceso público y el permanente cambio. Todo documento encontrado en Internet es el resultado de la conjunción de tres elementos: contenido informativo, modo de conservación y modo de comunicación. Por tanto, Internet no sólo es un medio para la búsqueda de información sino también un espacio virtual que facilita al estudiante la realización de los trabajos prácticos conjuntamente con otros actores intervinientes en la red.

En el espacio virtual de la Web, el estudiante se relaciona con el **“hipertexto”**, el que presenta una simbiosis de contenidos multimediales, soportes digitales y redes de comunicación. “Una de las características fundamentales del hipertexto es estar compuesto por cuerpos de textos conectados, aunque sin eje primario de organización”. (Landow, 1998). En el hipertexto la estructuración de las ideas no es secuencial sino que se manifiesta como una red abierta e infinita. Nos atreveríamos a decir que la característica más importante del hipertexto es la discontinuidad, el salto, el traslado repentino de una posición a otra en el texto. Sin embargo, el hipertexto proporciona un sistema que puede centrarse una y otra vez durante la navegación, y cuyo centro de atención provisional depende de cada sujeto lector. “[...] cualquier usuario del hipertexto hace de sus intereses propios el eje organizador (o centro) de su investigación del momento. El hipertexto se experimenta como un sistema que se puede descentrar y recentrar hasta el infinito” (Landow, 1998). Por un lado esto genera cierta sensación de libertad, pero a menudo puede llevar a una pérdida de la comprensión: al navegante no le quedan claras las relaciones de implicación entre las ideas, todas parecen valer lo mismo, nuestros estudiante (jóvenes ingresantes) no llegan a captar sus relaciones jerárquicas, tal como nos lo mostró la encuesta de diagnóstico realizada en el año 2000.

A lo anterior debemos agregar lo que la experiencia nos muestra: que existen dos tipos de búsqueda fa-

llida en Internet, la que no arroja ningún resultado y la que da demasiados. Habría que evitar ambas. Los buscadores en la Web son múltiples y en crecimiento. Los sistemas de meta-búsqueda aparecen como una "solución" a esa multiplicidad de buscadores. Por último, destacamos otra dificultad, por cierto no menor, a la que se enfrentan nuestros alumnos: en la Web circula a veces información muy interesante y, otras veces, inútil.

Para diseñar los trabajos prácticos nos vimos obligados a reflexionar sobre el concepto de **tecnología educativa**. ¿El diseño de los trabajos prácticos de Ingeniería y Sociedad era una tecnología educativa? La respuesta a este interrogante la construimos a partir de diferentes vertientes teóricas. Por un lado hacemos nuestros los conceptos de Edith Litwin citados por Mariana Maggio (1995): "La Tecnología Educativa es igual que la Didáctica, se preocupa por las prácticas de la enseñanza, pero a diferencia de ésta, incluye entre sus preocupaciones el análisis de la teoría de la comunicación y de los nuevos desarrollos tecnológicos: la informática en primer lugar". Además, en sentido amplio la tecnología educativa "es caracterizada como conjunto de procedimientos, principios y lógicas para atender los problemas de la educación" (Maggio 1995). La tecnología educativa es entendida por nosotros como un conjunto sistemático de acciones que integra sistemas tecnológicos y conocimientos científicos diversos, y que reconoce como uno de sus objetivos fundamentales la construcción de aprendizajes creativos y reflexivos. De este modo, la tecnología educativa intenta satisfacer los intereses comunes de estudiantes y docentes: la producción de aprendizajes valiosos, y significativos.

Para cumplir con ese interés/objetivo tenemos que conocer de alguna forma el sistema real que pretendemos modificar; en nuestro caso, contar con un diagnóstico de las dificultades de aprendizaje de nuestros alumnos. Según el diagnóstico del año 2000 nuestros alumnos utilizaban la información de Internet sin criterios claros de selección y prácticamente sin ninguna elaboración. Nuestro siguiente paso fue "saber cómo actuar", es decir, construir un marco teórico que nos facilitara operar sobre las dificultades del proceso de aprendizaje y transformarlas para así alcanzar nuestro objetivo: producir aprendizajes relevantes. Diseñar el modelo de trabajo práctico como un conjunto sistemático de acciones dirigido por ciertas reglas o pautas, fue nuestro siguiente paso. Por último nos vimos en la necesidad de elaborar criterios de evaluación que nos permitieran determinar la eficiencia y eficacia de nuestra propuesta de trabajos prácticos y, al mismo tiempo, reconocer los logros alcanzados por los alumnos y las dificultades que aún se mantienen.

Pedagogía de la comprensión como teoría y práctica

Para la elaboración de nuestro marco teórico recurrimos a la **Pedagogía de la Comprensión**, sin considerar a la misma como excluyente o abarcativa en sí misma de todos los procesos o teorías constitutivas del proceso de enseñanza-aprendizaje, en cuyo contexto definimos qué se entiende por comprensión y por aprendizaje significativo, y diseñamos los nuevos trabajos prácticos a través de una selección de temas, actividades, habilidades cognitivas y desempeños de comprensión.

Desde la pedagogía de la comprensión sostenemos que un aprendizaje es significativo cuando permite integrar de manera flexible estructuras teóricas y conocimientos previos disponibles a la explicación de situaciones nuevas. De esto se sigue, que un aprendizaje significativo implica la **comprensión**, la que no se reduce a la simple memorización de lo que se nos dice, por el contrario, la comprensión supone un análisis reflexivo, crítico de la información a nuestro alcance para elegir, de manera razonada y responsable cursos de acción o desempeños de comprensión. La comprensión supone siempre un aprendizaje activo y flexible, es decir que los estudiantes para comprender ideas complejas tales como "las relaciones entre la ciencia y la tecnología", "las relaciones entre el sistema tecnológico y el cambio social" deben aprender haciendo y cambiando de forma activa sus conocimientos.

El aprendizaje significativo, comprensivo, que hemos intentado alcanzar es, un proceso complejo, nunca un resultado uniforme de la aplicación de estrategias únicas para todos, cada individuo, cada grupo, aprende cosas diferentes de modo diverso. En su obra *Estructuras de la Mente*, Gardner (1995) sostiene que me "...parece que cada vez es más difícil negar la convicción de que existen al menos algunas inteligencias, que son relativamente independientes entre sí, y que los individuos y culturas las pueden amoldar y combinar en una multiplicidad de maneras adaptativas..." Esto es lo que muestran los resultados alcanzados por los diferentes grupos a los que se le propusieron los dos modelos homogéneos de trabajos prácticos.

La comprensión es definida por David Perkins como un **desempeño flexible** que alcanzamos cuando podemos utilizar lo que sabemos para reflexionar y actuar sobre la realidad y así modificarla. Las siguientes actividades, entre otras, son actividades de comprensión o desempeños flexibles: describir, analizar, sintetizar, secuenciar, diferenciar, organizar, diagramar, comparar, relacionar, etc. Para apreciar la comprensión le pedimos al alumno que haga algo, que ponga en juego su comprensión: explicando, resolviendo un problema, construyendo un argumento o armando un producto (Perkins, 1999).

En este marco teórico el aprendizaje significativo es un proceso activo, comprometido, reflexivo, complejo y desafiante; la enseñanza aparece como una actividad auto reflexiva que debe proponer los interrogantes básicos y orientadores, seleccionar aquellas temáticas, o bien contenidos, que son centrales para la asignatura e interesantes tanto para los estudiantes como para el docente, lo que redundará en beneficio de ambos y le permitirá al docente especificar los objetivos a realizar y las actividades más adecuadas para alcanzarlos. Esto supone que el docente deja de ser un simple informador y examinador y se transforma en un facilitador y entrenador, cuyo rol principal es de "disponer, apoyar y armar una secuencia de desempeños de comprensión" (Perkins, 1999). Para ello deberá:

- Establecer los **hilos conductores**. Estos son las preguntas básicas y fundamentales que dirigen la actividad de enseñanza aprendizaje a lo largo del año y deben ser conocidas tanto por los docentes como por los alumnos.
- Seleccionar los **tópicos generativos**, es decir, los contenidos temáticos, conceptuales básicos de la disciplina que deben ser enseñados. Su selección tendrá en cuenta su riqueza potencial de relaciones. Deberán ser accesibles para el alumno e interesantes para docentes y alumnos.
- Proponer **metas de comprensión**, las que especifican estructuras conceptuales, procesos o habilidades que pretendemos que los alumnos realicen, es decir, que en ellas enunciamos los logros básicos que se proponen alcanzar tanto el docente como el alumno, por lo que deben ser centrales para la asignatura, públicas -conocidas tanto por el docente como por el alumno- e integradas en una red compleja que supone las relaciones entre los hilos conductores, los tópicos generativos, las metas de la comprensión y los desempeños de la comprensión.
- Especificar los **desempeños de la comprensión**. Los desempeños flexibles de comprensión son actividades elegidas y jerarquizadas por el docente que permitirán a los alumnos aplicar los conocimientos a situaciones nuevas y de manera novedosa. Son ejemplos de desempeños de comprensión analizar información; esquematizar información; comparar análisis diferentes de un mismo tema, etc.
- **Evaluación diagnóstica continua**; su importancia práctica radica en que permite a los alumnos darse cuenta del nivel de comprensión que expresan sus desempeños de comprensión. Esto supone que los desempeños de comprensión deben estar orientados por criterios de evaluación claros y explícitos, los que estarán relacionados con las metas de la comprensión y dirigidos por los hilos conductores. (Pogré, 1995)

Dentro de los lineamientos anteriores, intentamos con los trabajos prácticos proponer alternativas para que los estudiantes puedan pensar y actuar flexiblemente con lo que saben, con los conocimientos adquiridos previamente, acerca de la ciencia, la tecnología y la sociedad, yendo un poco más allá.

Criterios metodológicos

El objeto de estudio de esta investigación es un proceso educativo. Por tratarse de un fenómeno social, se caracteriza por su estructura significativa y, en consecuencia, se lo conoce cuando se interpreta de acuerdo con los significados que tiene para las personas implicadas. En este sentido, el enfoque metodológico adoptado presupone el carácter interpretativo de la investigación social y se inscribe en la tradición de la investigación en educación que ha sido básicamente de investigación cualitativa. "Esto significa que los investigadores cualitativos estudian la realidad en su contexto natural, tal y como sucede, intentando sacar sentido de, o interpretar, los fenómenos de acuerdo con los significados que tienen para las personas implicadas." (Rodríguez Gómez y colaboradores, 1999).

No obstante, la aceptación de este criterio no implica el desconocimiento de los aportes del enfoque cuantitativo a la investigación social. La necesidad de analizar en el caso que nos ocupa los desempeños de comprensión alcanzados por los distintos grupos, demandó el empleo de técnicas cuantitativas que aportaron información relevante para la interpretación cualitativa. En este sentido, la elección metodológica ha buscado la complementación de los dos enfoques. "La ciencia habitual emplea conjuntamente el conocimiento cualitativo y el cuantitativo para alcanzar una profundidad de percepción, o visión binocular, que ninguno de los dos podría proporcionar por sí solo. [...] El empleo complementario de métodos cualitativos y cuantitativos, o el uso conjunto de cualesquiera métodos, contribuye a corregir los inevitables sesgos presentes en cualquier método." (Cook y Reichardt, 1998).

En la situación que nos ocupa se trata del significado que tiene para los actores directamente involucrados, docentes y alumnos, realizar una experiencia de aprendizaje para la comprensión a través de un diseño didáctico (tecnológico) concebido para ese fin. La orientación de las líneas para la interpretación de la información proviene de los aportes teóricos que sustentan este trabajo y de las experiencias, observaciones y apreciaciones realizadas por el equipo investigador en la asignatura Ingeniería y Sociedad, es decir, de la práctica de aula.

Por esta razón, se concibieron las experiencias de aula como el campo empírico de la investigación, como la situación real de vida susceptible de observación y análisis para el planteo de los interrogantes. Teniendo en cuenta que el objetivo de esta indagación era diseñar trabajos prácticos para generar aprendizajes significativos, se definió esa situación de aula como el campo en el que se recogen los datos, sin perder de vista que su recolección ya es una forma primera del análisis interpretativo. Por eso, en el curso de la investigación se elaboraron y modificaron los trabajos prácticos, para que cumplieran con el doble propósito de ofrecer una situación de aprendizaje moldeada bajo los principios de la pedagogía de la comprensión que fuera al mismo tiempo un instrumento para la toma de información.

La adopción de este criterio se respalda en la práctica de la llamada por algunos autores **investigación activa**, una modalidad de investigación aceptada en el campo de la pedagogía. Al caracterizarla, Díaz González Iturbe (1986) dice: "...[la] investigación activa que consiste en el "estudio y aplicación de la investigación de problemas educacionales, en una particular ordenación didáctica ...se enfoca sobre la aplicación inmediata, no en el desarrollo de la teoría ni respecto de una aplicación general. Ha situado su énfasis sobre un problema, aquí y ahora, en la situación localizada. Sus hallazgos han de ser evaluados en términos de aplicabilidad local, no en los de validez universal. Su propósito es mejorar prácticas escolares y, al mismo tiempo, a quienes intentan perfeccionar esas prácticas."

El trabajo práctico fue planteado con la intención de que las relaciones entre textos no fueran cualquier asociación. La consigna de elegir un texto como central apunta a que el estudiante pueda reconstruir, a partir de una oferta limitada de contenidos, cierto ordenamiento jerárquico de ideas, en contra de la movilidad hipertextual, que arrastra consigo una desvalorización de los contenidos y muchas veces una peligrosa descontextualización (no se sabe bien de cuándo es la información, dónde fue generada, quién es su autor, etc.) Por otro lado, la consigna de que las relaciones debían ser sólo

las pedidas los obligó en gran medida a esforzarse en el análisis, la identificación, la integración de las ideas y saberes.

La enorme y creciente cantidad de información a la que podemos tener acceso en la Web no sólo es oportunidad de desarrollo social y personal. El empleo de los nuevos medios requiere destrezas que van más allá de la habilidad para abrir un programa o poner en marcha un equipo de cómputo. Se necesitan aprendizajes específicos para elegir entre aquello que nos resulta útil, y lo mucho de lo que podemos prescindir.

Los materiales presentados para la elaboración de los trabajos prácticos procuramos que fueran potencialmente materiales con "sentido", no arbitrarios y sustantivamente relacionados con la estructura de conocimiento del aprendiz. La posibilidad de que un contenido se torne "con sentido" depende de que sea incorporado al conjunto de conocimientos de un individuo de manera sustantiva, o sea relacionado a conocimientos previamente existentes en la "estructura mental" del sujeto. El tema elegido ha tenido en cuenta estas condiciones a la vez que se inscribe en las particularidades y en relación a las áreas científico-tecnológicas de la formación profesional.

En los resultados se puede destacar un sentido lógico y un sentido psicológico. El primero es característico de los materiales mismos, y se aprecia en todos los resultados en los cuales el alumno opera de manera pertinente con ellos, relacionándolos de modo apropiado, etc. El sentido psicológico es siempre un fenómeno idiosincrático. La naturaleza idiosincrática (sentido psicológico) del aprendizaje prevalece sobre un sentido lógico de significación universal.

Por otro lado, la estructura psicológica del "conocimiento con sentido" tiene la capacidad de transformar "sentido lógico" en un sentido y comprensión psicológica, que es lo que el individuo hace en el proceso de aprendizaje. Esto se pone de manifiesto en las particulares elecciones que hacen los alumnos, ya sea de los links a elección, de los contenidos a relacionar, del modo en que sintetizan una vasta información, aquello que destacan, etc.

El trabajo práctico exige en el esquema integrador que se hagan explícitas ciertas relaciones entre ideas. El esquema conceptual integrador muestra el sentido de cada producto final, de los desempeños de comprensión, en los que se visualizan el sentido lógico y psicológico del aprendizaje realizado.

Diseño del modelo empírico

El trabajo práctico diseñado abarca los tópicos **generativos ciencia, tecnología y cambio social** de la asignatura y destaca como **eje temático** la noción de **sistema tecnológico**, un concepto que puede ser reconocido en el caso concreto del **satélite de comunicación**. El tema fue elegido pensando que el satélite de comunicación es una realización tecnológica interesante para alumnos de la carrera de Sistemas de Información, que les permite comprender la tecnología, más allá de su aspecto instrumental y percibir con mayor profundidad las relaciones entre **ciencia, tecnología y sociedad**. "La tecnología moderna se caracteriza ya actualmente por un grado muy elevado de interdependencia entre sus diferentes componentes. Con respecto a los **sistemas tecnológicos parciales**, [...] podría lanzarse la hipótesis de que el dominio tecnológico tiende cada vez más a formar un vasto conjunto de sistemas tecnológicos parciales, conectados entre sí e interdependientes, y que este dominio tiende a reforzar cada vez más su **integración** (es decir, la intensidad de las interacciones entre sus componentes) y, como consecuencia lógica, su autonomía respecto a los otros campos de la actividad social. En efecto, a medida que crea nuevas conexiones y retroacciones entre sistemas parciales, se capacita para evolucionar (en complejidad, en poder de acción, en variedad de operaciones) por sus propias posibilidades [...] Pero al lado de estos factores internos de desarrollo, hay que conceder evidentemente un lugar especial, en el estudio de la dinámica de los sistemas tecnológicos, a la interacción con la ciencia" Ladriere (1978).

El objetivo del trabajo práctico integrador es: reconstruir comprensivamente un sistema tecnológico a partir de un ejemplo concreto, en nuestro caso el **satélite de comunicación**.

La propuesta nos pareció una situación de análisis altamente operativa para los intereses pedagógicos de la cátedra, dado que los satélites de comunicación son sistemas que permiten comprender la convergencia de la ciencia, la tecnología con procesos sociales específicos, tales como la revolución de las comunicaciones, la globalización, etc.

Los conocimientos previos para la realización del trabajo práctico son los saberes que el estudiante trae consigo por el hecho de vivir en una sociedad marcada por los desarrollos tecnológico-científicos, sometidos a reflexión y crítica en el desarrollo del trabajo práctico, a los que se integran los análisis y discusiones realizadas sobre los materiales teórico-prácticos de los módulos de la asignatura. En esos textos se destacan los siguientes conceptos: ciencia, sistema, técnica, tecnología, sistema tecnológico, revoluciones: industriales, de las comunicaciones, cambio social, globalización.

Es imprescindible aclarar que en nuestra propuesta de trabajo práctico integrador llamamos "hipertexto" a una estructura elaborada en programa Word "a modo de un hipertexto" básico, explícito, de recorrido secuencial. La modalidad de enlaces entre links es del tipo explícito, a través de vínculos visibles marcados en los textos. Cada link constituye un alargamiento que amplía el material sobre algún aspecto puntual del tema desarrollado.

Los links y los sublinks deben emplear el comando adecuado para remitir a su página de origen y a la principal. En cierto sentido se está trabajando a partir de concebir cierta analogía estructural entre un sistema, en este caso un sistema tecnológico, y ciertos rasgos del hipertexto propiamente dicho, rasgos estructurales con los cuales quisiéramos que nuestros estudiantes trabajaran.

El trabajo práctico es construido por trabajo en colaboración de los integrantes de cada grupo. "En un entorno hipertextual, todos los escritos son escritos en colaboración, y ello de dos maneras. El primer elemento de la colaboración aparece al compararse los papeles de escritor y lector, ya que el lector activo colabora necesariamente con el autor para producir un texto a través de las opciones que escoge. El segundo aspecto de esta colaboración se manifiesta cuando se compara al escritor con otros escritores, es decir, el que está escribiendo ahora con la presencia virtual de todos los escritores "en el sistema" que escribieron antes y cuyos escritos todavía permanecen (Landow 1995). El tratamiento de contenidos conformará un producto nuevo, especie de puente conceptual entre los saberes previos de los estudiantes y los datos almacenados virtualmente en la Web. En realidad, el sistema Internet y todos sus mecanismos están basados en los principios del constructivismo de significados. El constructivismo propone que los seres humanos dan sentido y aprenden mejor como resultado de hacer, crear, construir o reflexionar.

Se recomendó a los estudiantes que dejaran a un lado la búsqueda por directorios o simples buscadores (por ejemplo, Yahoo) y que utilizaran meta buscadores. Fueron recomendados el Google, el MetaCrawler y el uso de "searchbots" como el Copernic, del cual pueden descargar una versión gratuita desde su página Web (www.copernic.com); se trata de una herramienta más profesional de búsqueda y tiene la ventaja de guardar las búsquedas realizadas para continuar trabajando con ellas en otro momento.

Al inicio del año 2003 se realizó una jornada con todos los profesores de la cátedra de Ingeniería y Sociedad donde se presentó el nuevo diseño de trabajo práctico con su fundamentación teórica y las pautas de aplicación. El trabajo práctico se realizó en 20 cursos, cada uno con un promedio de 5 grupos aproximadamente.

Consignas:

1. Buscar, analizar, seleccionar y elaborar información que permita reconstruir las relaciones de "satélite de comunicación" con:

- **El mundo del trabajo:** se debe responder a las siguientes preguntas: ¿Qué cambios produjeron los satélites de comunicación en el trabajo humano? ¿Cuáles son los nuevos trabajos que se crean? ¿Qué cambios se consideran positivos y/o negativos?
- **Las costumbres y los usos cotidianos:** se deben señalar y analizar los cambios inducidos por esta tecnología respondiendo a las siguientes preguntas: ¿Qué cambios han producido en las costumbres y usos locales? ¿Cómo intervienen en la creación de modas? ¿Qué cambios se juzgan positivos y/o negativos?
- **La ciencia y la tecnología:** se deben identificar con las ciencias y tecnologías implicadas en el desarrollo del "satélite de comunicación". ¿Qué nuevos desarrollos tecnológicos surgen a partir de él? ¿Qué nuevas ciencias se desarrollan o modifican?
- **La problemática ambiental:** se debe hacer referencia al cuidado de la naturaleza y a la prevención de riesgos naturales. ¿Qué diversas funciones cumple el satélite de comunicación con respecto al ambiente? ¿Cuál es el impacto de la chatarra espacial? ¿Cuáles son los efectos positivos o bien los negativos? (Debe quedar claro que el término "ambiente" hace referencia a un sistema complejo que implica un sub-sistema físico: agua, aire y suelo; un sub-sistema biótico: fauna y flora y sub-sistema socio-cultural: economía, actividades culturales grupales o individuales etc.).

2. Los resultados de la elaboración serán presentados por cada grupo en forma de "hipertexto", en un documento tipo Word, aplicando el tipo de letra Times New Roman 14, el que tendrá la siguiente estructura:

- Un texto básico de síntesis integradora, a modo de **página principal**, de no más de 900 palabras, en el que se incluyan referencias breves sobre cómo funciona un satélite de comunicación y sus tipos y cuál es el desarrollo alcanzado por la tecnología satelital en la Argentina.
- De la página principal saldrán cuatro links, de no más de 400 palabras, cada uno de los cuales hará referencia a las áreas estipuladas, a saber: **el mundo del trabajo; las costumbres y los usos cotidianos; la ciencia y la tecnología y la problemática ambiental**. Debe aclararse, en cada caso, si se está haciendo referencia a la situación nacional, regional o mundial.
- De cada uno de los cuatro links anteriores se extenderán a su vez diversos sub-links, un mínimo de dos y un máximo de cinco. Su temática queda a elección de cada grupo. Cada sub-link no puede superar el máximo de 200 palabras.
- Tanto los links como los sub-links deben poder remitir o volver, con el comando adecuado, a su página de origen y a la página principal.
- Finalmente, como tarea de autorreflexión, cada equipo debe elaborar un esquema de representación (cuadro sinóptico, mapa conceptual, etc.) que refleje la estructura de conceptos y relaciones que están presentes en el "hipertexto" por ellos creado.
- Todos los grupos deberán citar adecuadamente las páginas de la Web consultadas y efectivamente utilizadas como enlaces electrónicos.
- El trabajo realizado será entregado en CD y en soporte papel en forma de informe monográfico.

Criterios de evaluación

La evaluación tendrá en cuenta que los estudiantes elaboren el trabajo práctico conforme a las pautas establecidas para:

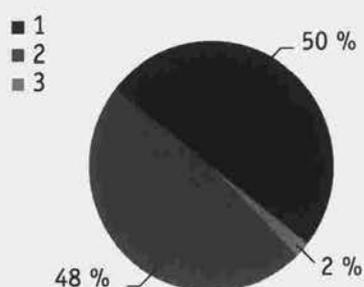
- Que la confección del esquema de representación (mapa conceptual, cuadro sinóptico, etc.) permita visualizar la riqueza del "hipertexto", de las ideas, los conocimientos y las relaciones allí expresadas.
- Que la presentación y la comunicación de los trabajos cumpla con las normas dadas.
- No se evaluarán cuestiones técnicas de navegación y acceso a la información, sino más bien de interpretación de contenidos y de construcción de nuevos significados.

Para medir los desempeños de comprensión alcanzados fue elaborada una grilla con los siguientes ítems: búsqueda y selección de información; construcción del "hipertexto"; esquema de representación y comunicación-presentación, los que fueron evaluados con las categorías de "muy satisfactorio" que corresponde al sobresaliente y distinguido, "satisfactorio" los que merecen un bueno y, por último, "necesita seguir trabajando" comprende a los de simple aprobado y/o a los aplazados.

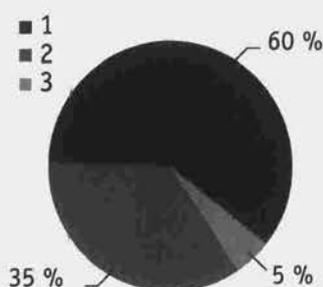
Cuantificación de los resultados de los trabajos del "Hipertexto"

El 1 corresponde a muy satisfactorio; el 2 a satisfactorio y el 3 a necesita seguir trabajando.

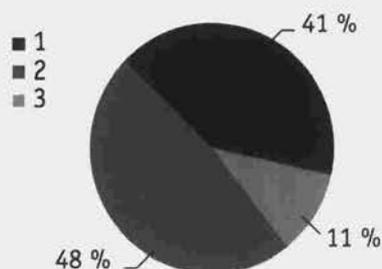
Búsqueda y selección de información



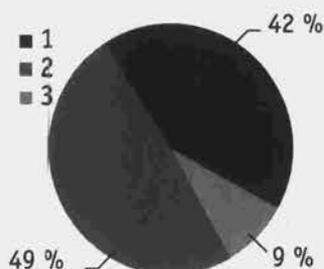
Hipertexto y Links



Construcción de esquemas de representación



Comunicación y presentación



Análisis cualitativo de los desempeños de comprensión

En la búsqueda y selección de información un 98% de los alumnos alcanzó niveles de "muy satisfactorio" (50%) y "satisfactorio" (48%), lo que nos hace pensar en una integración de los saberes previos y de los conceptos trabajados en clase a la búsqueda y selección de los datos pertinentes. En este ítem un escaso 2% necesita seguir trabajando. En la construcción del "hipertexto" que evaluaba la coherencia entre la página principal, los links y sublinks, sólo un 35% resultó muy satisfactorio, un 60% satisfactorio y un 5% necesita seguir trabajando. Creemos que estos resultados se deben a pequeños defectos en el manejo de la técnica y a la mayor complejidad que supone establecer relaciones claras entre textos diversos. El esquema de representación, que supone mayores dificultades de orden lógico, reconocimiento de ideas de mayor generalidad, relaciones de implicación, construcción de nexos, etc., arrojó un 41% de resultados muy satisfactorios, un 48% de satisfactorios y un 11% que necesita seguir

trabajando. Los logros aquí alcanzados muestran la mayor dificultad del desempeño de comprensión requerido en la esquematización de conceptos y sus relaciones. En la **comunicación-presentación**, un 42% alcanzó desempeños muy satisfactorios, un 49% satisfactorios y un 9% necesita seguir trabajando. Atribuimos estos resultados a incumplimiento de consignas, por ejemplo, no respetar el número de palabras asignado a cada link o sub-link, citas incorrectas de las páginas consultadas de la Web, desprolijidad en la presentación, etc. Como puede apreciarse, los resultados han sido estimulantes y muestran la eficacia del nuevo diseño de trabajo práctico en orden a producir aprendizajes valiosos.

Constitución de los grupos testigo

Por tener nuestra investigación carácter experimental, se eligieron al azar cuatro cursos, cuyos veinte grupos funcionaron como grupos de control. A estos se les propuso la realización de un **informe monográfico sobre el satélite de comunicación** que les permitiera relacionarlo con los avances científicos, los desarrollos tecnológicos y el cambio social, en distintas áreas. Para estos equipos la propuesta fue abierta, ya que podían elegir libremente tanto el tema como la perspectiva de análisis. No obstante, se establecieron las siguientes consignas para la realización del trabajo:

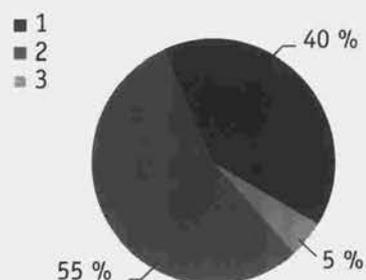
- Reconstruir diversas relaciones del **satélite de comunicación** con los desarrollos científico-tecnológicos y los cambios de la sociedad en diversos ámbitos.
- Utilizar distintas fuentes de información tales como libros, revistas, Internet, etc.
- El informe monográfico se presentará correctamente compaginado y constará de: carátula, índice, introducción, dos capítulos de desarrollo, esquema de representación (mapa conceptual o cuadro sinóptico), conclusión, bibliografía y enlaces electrónicos.
- El esquema final reflejará la estructura de conceptos y relaciones presentes en los capítulos del informe.
- Los textos presentados serán el producto del análisis, la discusión, la comprensión y la elaboración hechos por el grupo de las fuentes de información consultadas.
- Se podrán hacer citas textuales de distintas fuentes y autores de hasta mil palabras correctamente citadas.

Los criterios de evaluación aplicados a los grupos testigos son los mismos que para los otros grupos, sólo que en lugar de considerar la confección del "hipertexto" se evalúa la "elaboración de los textos del informe"; en este caso, se tomarán en cuenta la pertinencia de los textos para lograr el o los objetivos propuestos, la coherencia de las ideas y sus relaciones, la elaboración de síntesis que muestren un análisis reflexivo de las fuentes de información citadas.

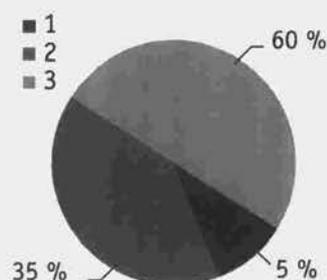
Cuantificación de los resultados del "Informe monográfico" de los grupos testigo

1: muy satisfactorio; 2: satisfactorio; 3: necesita seguir trabajando.

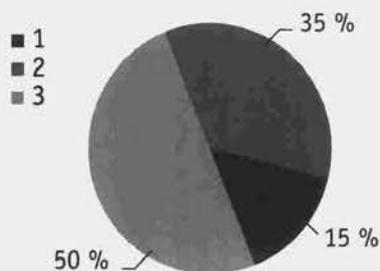
Búsqueda y selección de información



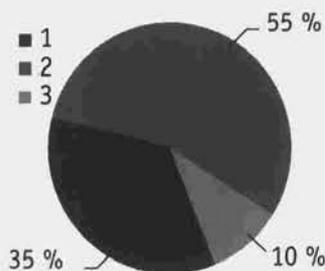
Elaboración de los textos del informe



Construcción de esquemas de representación



Comunicación/presentación



Análisis cualitativo de los resultados alcanzados

Si comparamos, en el ítem búsqueda y selección de información, los resultados de los trabajos del **hipertexto** con los obtenidos en los del **informe monográfico** –grupos testigo–, observamos que en los equipos del hipertexto se registró un 3% menos de Necesita Seguir Trabajando. Creemos que esta diferencia en los logros alcanzados puede atribuirse a la mayor exigencia de las consignas –número de palabras de cada link y sublink– que condujo a los alumnos a una más cuidadosa selección de ideas y conceptos, que se evidencia en los mejores desempeños logrados.

La eficacia del trabajo práctico del **hipertexto** se manifiesta con total claridad en el ítem **construcción de esquemas de representación**. En los grupos del hipertexto un 11% evidencia dificultades en la elaboración del esquema, es decir, Necesita Seguir Trabajando, mientras que un 52% de los grupos testigo –**informe monográfico**– no pudieron elaborar una esquematización aceptable que mostrara, de manera clara, los conceptos y las relaciones entre ideas, contenidos en los textos presentados en el informe monográfico. La elaboración de este desempeño es el más difícil para los alumnos, pues al ser una tarea de síntesis exige y revela con claridad la comprensión alcanzada. Pensamos que, en el modelo del hipertexto, la necesidad de seleccionar datos para elaborar una información más restringida –links y sublinks limitados en palabras– condujo a los diferentes grupos a descubrir una red básica de conceptos y relaciones que componían el sistema. Además, creemos que esas exigencias evitaron a los grupos del hipertexto la tentación de “cortar y pegar” información sin elaborar y sin comprender conceptualmente los contenidos. Mientras que la conciencia del esfuerzo ante una exigencia de selección de información y elaboración de síntesis no aparece mayormente en los **informes monográficos**, en los que se registra mayor uso de “cortar y pegar”, párrafos pertinentes encontrados en la Web o en otras fuentes.

Análisis cualitativo complementario del Trabajo Práctico

Con la intención de posibilitar una profundización de la evaluación cualitativa del trabajo práctico –**hipertexto e informe monográfico**– se realizó una encuesta abierta a los estudiantes que les facilitara reflexionar y expresar libremente sus intereses y aprendizajes, las facilidades y las dificultades que habían encontrado en la ejecución del trabajo práctico y las posibles transferencias de lo aprendido. A tal fin, se pidió a 154 alumnos de diferentes cursos responder a las siguientes preguntas:

1. ¿Le interesó el trabajo práctico?
2. ¿Qué aprendió con el trabajo práctico?
3. ¿Podrá utilizar lo que aprendió en otras asignaturas?
4. ¿Qué dificultades tuvo en la realización del trabajo práctico?
5. ¿Qué facilidades tuvo para realizar el trabajo práctico?

Para evaluar los trabajos de nuestros alumnos hemos trabajado con los niveles prototípicos de la comprensión elaborados por Verónica Boix Mansilla y Howard Gardner (En: Stone y Wiske, 1999). Trabajamos con los desempeños de comprensión del nivel del **aprendiz**. Al respecto, dicen los autores citados "Los desempeños de **comprensión de aprendiz** están basados en conocimientos y modos de pensar disciplinarios. Demuestran un uso flexible de conceptos o ideas de la disciplina. La construcción del conocimiento se ve como una tarea compleja, que sigue procedimientos y criterios que son prototípicamente usados por expertos en el dominio. Con apoyo, los desempeños en este nivel, iluminan la relación entre conocimiento disciplinario y vida cotidiana, examinando las oportunidades y las consecuencias de usar este conocimiento." (Pág. 240). Las tendencias generales de algunas de las respuestas de la encuesta abierta permiten establecer correspondencia con el nivel de comprensión del aprendiz, en la medida en que muestran una visión del conocimiento como un proceso histórico, constructivo y problemático.

La pedagogía de la comprensión valora como indicador el manejo, por parte de los estudiantes, de saberes propios de un **dominio** científico y tecnológico que tenga relación con su desempeño profesional. La idea de sistema tecnológico que estuvo presente en ambos modelos empíricos – **hipertexto e informe monográfico** – es de por sí un concepto central del dominio ideológico de la Ingeniería en Sistemas. Consideramos que la confección del **hipertexto** ha puesto a esos grupos en relación con otras prácticas y habilidades complementarias, propias del dominio profesional en el que aspiran a formarse, tales como: manejo de buscadores y metabuscadores, usos de Word para simular una estructura hipertextual, confección de gráficos, darse cuenta de que la información puede estar en otro idioma, etc.

En los grupos testigo – **informe monográfico** - se advierte una mayor distensión en general, no pasaron por el estrés de la exigencia hipertextual, tuvieron dificultades estándar similares a las que ya traían – reveladas por la encuesta diagnóstica - pero no incrementaron las exigencias de búsqueda y navegación. Por otro lado, la dificultad de distinguir ciencia de tecnología se hizo presente en los grupos del **hipertexto** en mayor medida que en los grupos testigo. Superar esa dificultad ha sido reconocido por los propios estudiantes como positivo para su formación profesional.

Las dificultades metodológicas nos confirman que nuestros estudiantes, salvo alguna excepción dentro de aquellos evaluados como: "deben seguir trabajando", operan con las limitaciones propias del nivel de aprendiz "Con apoyo, los alumnos pueden dudar y ser autocríticos o escépticos acerca de lo que piensan, saben, oyen, leen y toman por contenido disciplinario. En la mayoría de los casos las críticas son escasas o ensayadas" (Boix Mansilla y Gardner, op. cit. pág. 248). Además, sus trabajos son limitados en lo que hace a la riqueza de relaciones entre ideas, en lo que hace a las generalizaciones inductivas de saberes particulares dispersos, pobres en conceptualizaciones más amplias. Los esquemas conceptuales suelen ser muy lineales, no están enriquecidos con relaciones de reciprocidad, etc.

En la dimensión propósitos tomamos en cuenta que los trabajos menos pautados –**informe monográfico**– producen en los sujetos intervinientes una sensación de libertad y creatividad mayor que la que se registra en el trabajo práctico del hipertexto; en este último se advierte que el factor personal estuvo más limitado y que su concreción presentó dificultades extras a sus realizadores.

En la dimensión comunicación se constatan aprendizajes en cuanto a técnicas de confección de monografías que fue valorado por los estudiantes como un logro importante. También se apreció un manejo de recursos de presentación de los informes considerado en su mayoría satisfactorio Sin embargo, algunas limitaciones se pusieron en evidencia con el trabajo del **hipertexto** que planteaba mayores exigencias en su elaboración y más especificaciones de construcción.

Como conclusión, podemos decir que en lo que hace a poner a nuestros estudiantes ante la situación de lograr desempeños de comprensión en relación al manejo del saber y del método, el trabajo práctico del **hipertexto** resultó más apropiado, porque los puso ante mayores desafíos. En cuanto a los propósitos, notamos que un factor de mayor libertad se ponía de manifiesto en el modelo menos pautado, por lo que el equipo de cátedra se propone incorporar esta variable en futuros modelos de trabajos prácticos

complementado así la tarea más pautada. Por último, en la dimensión de la comunicación no notamos diferencias significativas; ambos modelos de trabajos prácticos nos parecen oportunos.

Conclusiones

En la medida en que el aprendizaje le es propuesto al alumno como una tarea de descubrimiento de algo, él tenderá a la autonomía y a la gratificación, es decir, a sentirse recompensado por los efectos de sus propios logros. Según Vygotsky, la zona de desarrollo próximo es la distancia entre el nivel real de desarrollo, determinado por la capacidad para resolver independientemente un problema, y el nivel de desarrollo potencial, determinado a través de la resolución de un problema, bajo la guía de un adulto o en colaboración con otro compañero más capaz. Es decir que el desarrollo potencial se sustenta y manifiesta a través de la ejecución de la tarea para resolver un problema que concreta el estudiante con la mediación-orientación del docente o de un compañero con mayor experiencia que él. En sí, la **zona de desarrollo próximo** establece las funciones que aún no han madurado en el individuo, pero que están conformándose.

Los materiales aportados en el curso de Ingeniería y Sociedad permitieron clarificar la relación y distinción entre los tópicos generativos – **ciencia, tecnología y cambio social** - y las metas de comprensión - estructuras conceptuales, procesos o habilidades que pretendemos que los alumnos elaboren y realicen -, así como también la revalorización de la evaluación como proceso de reflexión a lo largo del aprendizaje, y abocar el trabajo a la elaboración de los desempeños de comprensión a partir de lo que los alumnos sabían. En síntesis, el desarrollo experimental de la investigación exigió al equipo de cátedra proponer respuestas, todas ellas revisables, a los siguientes interrogantes: ¿Cómo partir de desempeños sencillos para culminar en los más complejos? ¿Qué procesos o habilidades pretendemos que realicen nuestros alumnos? ¿Cómo avanzar en el perfeccionamiento de la evaluación? Las respuestas se concretaron en modificaciones del **modelo empírico** del trabajo práctico.

Por otro lado, el docente dejó de ser un simple informador y examinador y se transformó en un facilitador y entrenador, cuyo rol principal fue el de "disponer apoyar y armar una secuencia de desempeños de comprensión" (Perkins, 1999).

Los resultados de estas experiencias avalan la hipótesis central del proyecto, a saber, el uso de Internet puede conducir a aprendizajes de competencias cognitivas - reconocer, jerarquizar, relacionar conceptos, elaborar análisis críticos de ideas y realizar esquematizaciones - si su uso se integra en actividades diseñadas con criterios explícitos de las metas y desempeños de comprensión que se pretende alcanzar. El empleo de Internet, por sí solo, no es suficiente para desarrollar competencias de pensamiento de mayor abstracción como, por ejemplo, la comprensión de la diferencia entre relaciones causales y de sucesión, la elaboración de criterios para procesar y seleccionar información desde una fuente plana o la comunicación de una síntesis que recoja sólo los núcleos conceptuales. El manejo de esas competencias requieren de prácticas de pensamiento que el alumno ingresante, en general, no dispone al comienzo de la carrera y que, sin embargo, sus estudios universitarios exigen. Pensamos que el afianzamiento y profundización del aprendizaje de esas competencias requieren mucho más tiempo que el disponible por una asignatura cuatrimestral.

Referencias

- BOIX MANSILLA, V.; GARDNER, H. (1999) ¿Cuáles son las Cualidades de la Comprensión?, en STONE WISKE, M. (comp.) La Enseñanza para la Comprensión. Editorial Paidós, Buenos Aires.
- COOK, T. D.; REICHARDT, CH. S. (1986) Métodos Cualitativos y Cuantitativos en Investigación Evaluativa. Morata, Madrid.
- DIAZ GONZALEZ ITURBE, A. (1968) Introducción a las Técnicas de Investigación Pedagógica, México. Editorial Kapelusz, México.
- GARDNER, H. (1995) Estructuras de la Mente. La Teoría de las Inteligencias Múltiples. Fondo de Cultura Económica, México.
- LADRIERE, J. (1978) El Reto a la Racionalidad. Ediciones Sígueme. Salamanca.
- LANDOW, G. (1995) Hipertexto. La Convergencia de la Teoría Crítica Contemporánea. Editorial Paidós, Buenos Aires.
- LITWIN, E. (1993) Presentación. Cuaderno de la Cátedra de Tecnología y Comunicación Educativas, en MAGGIO, MARIANA y AUTORES VARIOS (1995) Tecnología Educativa. Política, Historias, Propuestas. Editorial Paidós, Buenos Aires.
- PERKINS, D. (1999) ¿Qué es la Comprensión? En STONE WISKE, M. (comp) La Enseñanza para la Comprensión. Vinculación entre la investigación y la práctica. Editorial Paidós, Buenos Aires.
- POGRÉ, P. (2001) Enseñanza para la Comprensión. Un Marco para Innovar en la Intervención Didáctica, AUTORES VARIOS (2002) Evaluación: una Clave para la Transformación de la Enseñanza. Universidad Torcuato Di Tella. Escuela de Educación. Latitud- Project Zero, Buenos Aires.
- RODRIGUEZ GOMEZ, G; GIL FLORES, J; GARCIA GIMENEZ, E. (1999) Metodología de la Investigación Cualitativa Ediciones Aljibe, España.

Instrucciones para la presentación de artículos

El objetivo de Proyecciones es la difusión de trabajos originados en las tesis presentadas en los ámbitos correspondientes a las carreras de postgrado que se dictan en la Facultad Regional Buenos Aires, así como de otros trabajos originales de investigación en el campo de la ingeniería, en todas sus ramas, y de las ciencias conexas. Eventualmente serán aceptadas también obras de revisión en temas específicos.

Proyecciones es una publicación periódica, cuya frecuencia de aparición se ha fijado en seis meses, para este primer año.

El presente instructivo reúne las condiciones generales de presentación y formato para todos los interesados en remitir sus contribuciones

Presentación de los textos

Los trabajos, en versión impresa (original y copia), podrán ser remitidos a cualquiera de los miembros del Comité Editorial: Lic. Miguel Languasco - Dr. Isaac Marcos Cohen

Facultad Regional Buenos Aires
Secretaría de Ciencia y Técnica
Medrano 951(C1179AAQ) Buenos Aires, República Argentina

La presentación corresponderá a un formato adecuado para hojas tamaño personalizado (20 cm x 28 cm) escritas con interlineado simple, conservando los siguientes márgenes: superior e inferior, 2,5 cm; derecho e izquierdo, 3 cm; encabezado y pie de página, 1,2 cm. La fuente aconsejada es Times New Roman, tamaño 12. Se deberá emplear sangría francesa de 1 cm y alineación justificada en el texto (no debe exceder las 20 páginas por trabajo incluyendo imágenes, figuras y tablas).

En la página inicial se indicará el título en negrita, centrado y en letras mayúsculas; en otro renglón, también en negrita, iniciales y apellido del (de los) autor(es) y, finalmente, en *itálica*, el nombre, la dirección postal y el correo electrónico de la(s) institución(es) a la(s) que pertenece(n).

A continuación, dejando tres espacios libres, el texto, en espacio simple, comenzando con un resumen de 50 a 100 palabras, en castellano e inglés, también en negrita y con tamaño de fuente 9.

Se aconseja ordenar al trabajo de acuerdo a los siguientes ítems: Introducción, Parte Experimental, Resultados y Discusión, Conclusiones, Agradecimientos (si existieren) y Referencias.

En hoja aparte se indicará el tipo de procesador de texto utilizado y la versión correspondiente.

Los autores deberán entregar un disquete conteniendo su trabajo y diagramado para su reproducción directa en la versión final impresa.

Los trabajos serán revisados por reconocidos especialistas, designados por el Comité Editorial, a propuesta de los Editores Asociados. El dictamen será, en cada caso: a) aprobado en su versión original; b) aprobado con pequeñas modificaciones; c) revisado, con necesidad de modificaciones significativas; d) rechazado. En los casos diferentes a su aprobación directa, los trabajos serán enviados a los autores. Cuando se trate de cumplir con modificaciones sugeridas por los árbitros, los trabajos serán sometidos a una nueva evaluación.

Tablas y Figuras

Las figuras deberán ser adecuadas para su reproducción directa; cada figura deberá ser ubicada en el texto, en el lugar más cercano a su referencia, con número y leyenda explicativa al pie. No podrán reproducirse figuras en color.

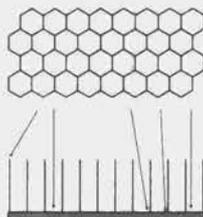


Figura 1. Ejemplo de ubicación de la figura y su leyenda explicativa (centrada, en negrita y fuente 9)

Las tablas se incluirán en el lugar más cercano a su referencia, con números arábigos y acompañadas con un título auto-explicativo en el encabezado.

Tabla 1. Ejemplo de formato para tabla y título (centrada, en negrita y fuente 10)

MAGNITUD	CONDICIÓN A	CONDICIÓN B
MAGNITUD A	1A	1B
MAGNITUD B	2A	2B

Referencias

Las referencias se consignarán en el texto indicando el apellido del autor (o primer autor, en trabajos de autoría múltiple) y el año de la publicación. Ejemplos: Gould (1958); Sah y Brown (1997); Probst y colaboradores (1997). El ítem Referencias contendrá todas las citas consignadas en el texto, ordenadas alfabéticamente, tomando el apellido del primer autor. Los artículos incluidos en publicaciones colectivas deberán figurar en el orden: iniciales y apellido de todos los autores; entre paréntesis, año de publicación; abreviatura internacionalmente aceptada de la publicación; volumen; primera página del artículo. Las referencias a libros consignarán iniciales y apellido de todos los autores; título; página (si corresponde); editorial: Ejemplos:

GOULD, E. S. (1958) Curso de Química Inorgánica. Selecciones Científicas, Madrid, España.

PROBST, T.; BERRYMAN, N.; LARSSON, B. (1997) Anal. Atom. Spectrom. 12, 1115.

SAH, R.; BROWN, P. (1997) Microchem. J., 56, 285.

Autoridades de la Facultad Regional Buenos Aires

Decano	<i>Arq. Luis De Marco</i>
Vicedecano	<i>Ing. Raúl Sack</i>
Secretario Académico	<i>Ing. Ricardo Bosco</i>
Secretario Administrativo	<i>Dr. Alejandro Baiguera</i>
Secretario de Ciencia y Tecnología	<i>AUS Oscar Noguez</i>
Secretario de Cultura y Extensión Universitaria	<i>Ing. Guillermo Oliveto</i>
Secretario de Asuntos Estudiantiles	<i>Sr. Juan Tiribelli</i>
Secretario de Gestión Académica	<i>Ing. Marcelo Horacio Giura</i>
Subsecretario Área Graduados	<i>AUS Ricardo Saller</i>
Subsecretaria Administrativa	<i>Sra. Marta Yolanda Haberman</i>
Subsecretaria de Relaciones Públicas e Institucionales	<i>Sra. Patricia M. De Marco</i>
Director de Departamento Ingeniería Civil	<i>Ing. Silvio Bressan</i>
Director de Departamento Ingeniería Eléctrica	<i>Ing. Eduardo Spittle</i>
Director de Departamento Ingeniería Electrónica	<i>Ing. Jorge Sinderman</i>
Director de Departamento Ingeniería Industrial	<i>Ing. Raúl Sack</i>
Director de Departamento Ingeniería Mecánica	<i>Ing. Diego Villalba</i>
Director de Departamento Ingeniería Naval	<i>Ing. César Legaspi</i>
Director de Departamento Ingeniería Química	<i>Ing. María del Carmen Gutiérrez</i>
Director de Departamento Ingeniería en Sistemas de Información	<i>Ing. Rubén Fusario</i>
Director de Departamento Ingeniería Textil	<i>Ing. Esteban Bertagni</i>
Director de Departamento Ciencias Básicas	<i>Ing. Jorge Alborés</i>
Director Académico de Posgrado	<i>Dr. Fernando Nápoli</i>
Director Administrativo de Posgrado	<i>Ing. Urano Schiffrini</i>



Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires
Medrano 951 - C1179AAQ - Ciudad Autónoma de Buenos Aires - República Argentina
Fax: (54-11) 4862-1506 - Tel: (54-11) 4867-7500 - www.frba.utn.edu.ar