

## Relato de experiencia de operación a distancia de un Reactor Nuclear para capacitación y entrenamiento

Walter Miguel Keil<sup>1,1</sup>, Norma Adriana Chautemps<sup>1</sup>, Carlos Murúa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba.  
Av. Vélez Sarsfield 1611, Córdoba, Argentina.

{Walter Miguel Keil, Norma Adriana Chautemps, Carlos Murúa} [walter.keil@unc.edu.ar](mailto:walter.keil@unc.edu.ar)

**Resumen.** El objetivo de esta presentación consiste en difundir los resultados de las fases propias de las experiencias en formación y capacitación a distancia, en entrenamiento sobre operación de reactores nucleares y física de reactores. Al ser la investigación cualitativa esencialmente descriptiva y analítica, permitió abordar la compleja realidad de las prácticas haciendo hincapié en las perspectivas de los participantes. El trabajo consistió en realizar una de las prácticas previstas en reactores, con un sistema de video-conferencia para observar la operación, y con un sistema electrónico de adquisición de datos para transmitir las señales de la instrumentación del reactor. A través de éste se obtuvieron los parámetros utilizados para realizar los cálculos de reactividad, tiempo de respuesta y aproximaciones a crítico del reactor. La experiencia se llevó a cabo con un grupo de profesionales que realizaban entrenamiento para obtener licencia de operación de reactores.

**Palabras claves:** Educación, Innovación, TIC, Laboratorio de Energía Nuclear.

### 1 Introducción

La Universidad Nacional de Córdoba cuenta con un reactor de investigación de baja potencia denominado RA-0 (Reactor Argentino número cero) destinado a la formación de recursos humanos en el ámbito de las radiaciones ionizantes y ciencias nucleares. El reactor RA-0 está equipado con dispositivos experimentales educativos y de formación específicos, siendo único en su tipo en la región para su uso en educación, investigación y entrenamiento. La sala de control está provista de un espacio interactivo y además cuenta con instalaciones conexas como lo son: un laboratorio de radionucleídos, un laboratorio de electrónica y un laboratorio en proyecto aún, para el análisis de activación de neutrones; todos ellos constituyen los elementos indispensables para las actividades educativas y de formación específica que se ofrecen a los interesados en el campo de la medicina y de la energía nuclear.

A esta instalación asisten para su formación específica personal ingresante y en entrenamiento de la Central Nuclear Embalse, estudiantes universitarios de las áreas de ingeniería mecánica, ingeniería eléctrica, ingeniería biomédica y también profesionales médicos donde se capacitan en la metodología y aplicación de radionucleídos para su uso en el diagnóstico en el área de la medicina nuclear.

La instrucción y formación se basa en unidades teóricas y prácticas. Su duración depende de las necesidades de los temas de los usuarios o destinatarios y cubren aspectos de la física nuclear, protección radiológica y teoría de reactores nucleares.

En un reactor de investigación la formación académica es una disciplina específica diferente al trabajo de investigación que se lleva a cabo en forma rutinaria en este tipo de instalaciones.

Aplicando la concepción de Weber [1]“...se buscaba en términos generales, que sean los profesores los que seleccionaran una experiencia de enseñanza propia que hubiera resultado significativa, interesante y pertinente al campo de la física de reactores por alguna razón desde el punto de vista de la enseñanza”, se utilizó el siguiente práctico con moción de contextualizar el marco de trabajo en una experiencia específica.

## 2 Metodología

Para realizar el práctico de operación del reactor a distancias se dispone del siguiente equipamiento:

- a) Reactor Nuclear
- b) Sistema de adquisición de Datos del Reactor
- c) Sistemas de Video conferencias
- d) Pizarra electrónica
- e) Software “Sistema RA0 Consult”

La experiencia en que nos basamos se refiere a la construcción de una clase de laboratorio por parte de los participantes de una práctica a distancia en la operación de un Reactor Nuclear. Para ello tomamos como referencia lo realizado por Weber en el 2005 [2].

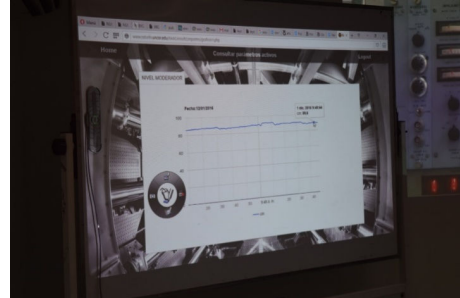
En diciembre de 2016 personal de las centrales nucleares Atucha I y Atucha II utilizaron el Reactor Nuclear RA-0 en forma remota para realizar prácticas de Física de Reactores. Dichas prácticas se desarrollaron en el marco del curso “Capacitación Complementaria Inicial – Nivel 1”, algunos de cuyos módulos (Física Nuclear, Física de Reactores, Seguridad Radiológica y Nuclear) son dictados mediante videoconferencia por personal del RA-0.

Con la asistencia de un docente en el aula, físicamente ubicada en el predio de la Central Nuclear Atucha, los alumnos realizaron, a través del manejo del reactor por parte de sus operadores en la consola del Reactor en la sede de la Ciudad Universitaria de Córdoba, prácticas de puesta a crítico por barras de control, y comprobaron la evolución de la población neutrónica con el reactor en estado subcrítico, crítico y supercrítico, con y sin fuente de neutrones insertada, utilizando para ello el sistema “RA0 Consult” en su versión síncrona.

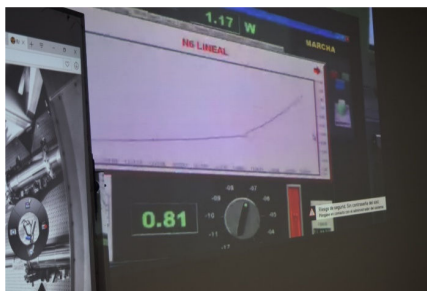
A continuación se muestran imágenes del trabajo en el aula:



**Fig.1-** Los alumnos en la C.N. Atucha



**Fig.2-** Usando el RA-0 Consult



**Fig.3-** Visión aumentada de la pantalla en aula parámetros



**Fig. 4.** Visión de otros



**Fig4 -** Vista desde la Consola de Operación del RA-0

### 3 Desarrollo de la experiencia

Título de la Experiencia: Configuraciones de Núcleos

Paso N°1: Núcleo N° 1

Con todas las barras de control extraídas y máximo nivel de agua, el Núcleo 1 propuesto por el jefe del reactor debe ser subcrítico. A partir de éste núcleo y hasta llegar al núcleo de primera criticidad, no debe cambiarse la posición de los detectores.

Paso N°2: Núcleo N° 2

Con el tanque inicialmente vacío y la fuente extraída, se irá agregando al núcleo anterior los elementos combustibles en las posiciones fijadas por el Jefe de Reactor, para llegar al núcleo 2.

Con los valores de conteo correspondientes a todas las barras extraídas y altura máxima de agua, se graficará para los núcleos medidos, la inversa de conteo normalizado en función del número de elementos combustibles.

Paso N°3: Núcleo N° 3 y siguientes

Alcanzada la condición de criticidad, se quita la fuente externa. Cumpliendo con las normas de diseño de conjuntos críticos y el procedimiento de operación, se elevará la potencia y se pasará al canal de marcha. Se medirá el exceso de reactividad mediante el método de período siguiendo el procedimiento para la calibración de barras en el núcleo de arranque del conjunto crítico RA-0 extrayendo la barra A o subiéndola la altura de agua y compensando con la barra B. El núcleo resultante se denomina “núcleo de primera criticidad”.

Nota: Se verificará que para este núcleo no se exceda el valor de 0.4\$ para el exceso de reactividad. De no cumplirse esta condición, el Jefe del Reactor definirá un nuevo núcleo quitando elementos combustibles. Se procederá a medir el exceso de reactividad en forma similar al núcleo de primera criticidad.

Se colocará la tapa superior al reactor y se repetirán los pasos anteriores con el objeto de medir la influencia de la misma en el exceso de reactividad.

En la configuración, sin o con la tapa superior al reactor, que presente mayor exceso de reactividad, el Jefe de Reactor, propondrá el agregado o quitado de elementos combustibles para definir el núcleo de arranque cuyo exceso de reactividad no debe superar los 0.4\$. Para medir este exceso de reactividad, se procederá en forma similar al núcleo de primera criticidad.

### 4 Evaluación de logros alcanzados

Para que se pueda interpretar el trabajo desarrollado presentamos sintéticamente las expectativas que traía el docente al curso y los aspectos que más nos marcaron de sus comentarios y que impactan en nuestro supuesto. Se espera que la didáctica provea de métodos o técnicas que puedan ayudar a construir mejores clases.

#### 4.1 Actividades propuestas para la evaluación

Propiciamos un trabajo progresivo entre docente y alumnos cuya secuencia presentamos a continuación:

1. Se pide a los participantes que identifiquen la experiencia realizada y que reconozcan lo que fue interesante desde el punto de vista de la enseñanza. Esta actividad trajo sus complicaciones. Algunos alumnos, por ejemplo, no recordaban parte de la experiencia o les resultaba difícil recordar los sucesos. En otros casos, se hacía difícil que los alumnos se comprometieran con la actividad. Estos obstáculos pudieron sortearse en la mayor parte de los casos, porque fuimos aprovechando las construcciones de los colegas y ejemplificando con diferentes casos

Fue importante el trabajo que se hizo en el sentido de definir cuáles podrían ser las instancias adecuadas para su relato. Esto es, revisar las ideas de enseñanza, apropiarse de nuestra perspectiva de la didáctica, analizar qué resulta significativo y no caer en la polaridad de entender los relatos como “todo bueno” o “todo malo” Este tema nos acompañó a lo largo del laboratorio y consideramos interesante y adecuado que así haya sido.

2. Se solicita que se relate la experiencia implementada y realizada, intentando contextualizar su desarrollo. Para ello se elabora un guion. Esta actividad no ofreció en general dificultades, aunque como se destacó en el punto anterior, en algunos casos funcionó como promotora del trabajo anterior. Es decir se aprovechaban los avances de algunos colegas para que otros pudieran “comprender”, interesarse, valorar la propuesta y se sintieran invitados a desarrollar la propia.

Esta actividad resultó en general muy enriquecedora. Los alumnos/ profesores se involucraban en la tarea. Construían interesantes relatos, aunque en algunos casos se caía en el relato de anécdotas estereotipadas que distaban de las que nos interesaba rescatar.

3. Se promueve la discusión respecto del caso relatado oralmente en grupos pequeños de pares. Esta discusión se organizó en torno del relato en tanto texto por una parte y de la experiencia relatada por otro. Si bien hubo diferencias entre los diferentes grupos esta actividad se desarrolló sin mayores dificultades. Cabe destacar aquí que hay un tiempo que lleva a los alumnos/ profesores a entender los aportes como tales y no como críticas infundadas ni como valoración de la persona. Se trabajó bastante sobre este punto, relacionándolo con el tema de la evaluación. Se planteó la importancia y el interés que los comentarios críticos pueden tener desde la perspectiva del aprovechamiento que pueden hacer de ellos los autores, en este caso, de los relatos, etc.

4. Se propicia la reflexión individual, a partir de la discusión y aporte de los colegas. En esta instancia se busca justamente aprovechar los aportes del apartado anterior, es decir, que cada uno pueda reflexionar respecto de las discusiones previas. Se promueve la reflexión acerca de los acuerdos y desacuerdos con los comentarios de los colegas, revisar incluso las posibilidades que desde el trabajo con la bibliografía, con otros casos, se puede hacer para la construcción de la narración escrita.

5. Se propone un tiempo para la escritura (un par de semanas). Se construyen algunas pautas que permitan no sólo redactar los acontecimientos, sino identificar puntos cruciales para el análisis. En este punto resulta importante, trabajar con relatos de otros colegas, con casos extraídos de la bibliografía. Suelen valorar mucho las pautas de

escritura que se proponen en la bibliografía y se trabaja en clase. A lo largo de la experiencia descubrimos que era importante pautar muy bien los tiempos de entrega, porque esto actuaba como organizador de la propuesta a diferencia de las oportunidades en que lo dejamos más librado a las necesidades y posibilidades de cada uno.

6. Se desarrollan luego nuevas instancias de análisis del relato escrito, que permiten avanzar en la construcción del relato, en dotar de sentido el trabajo, de profundizar en aquellos aspectos conflictivos, etc. La posibilidad de discutir en esta instancia los escritos, pero sin que el autor pudiera modificar el relato. Otro colega leía el relato y en esta posición, la oportunidad de escuchar el relato leído por otro, llevaba al autor a distanciarse tanto de su obra que se le hacía posible encontrar nuevas lecturas críticas respecto de la experiencia, de escritura y del análisis que podía hacer sobre ambos aspectos.

Esta es una de las actividades que más valoraron en la marcha del proceso. A esta altura el docente hace una devolución escrita al trabajo. Con comentarios críticos respecto de la experiencia, el relato, siempre desde el punto de vista de la didáctica y proporcionando recursos para avanzar en la construcción desarrollada hasta el momento en cada uno de los planos indicados.

## 4.2 Resultados de la evaluación

Presentamos hasta aquí, las actividades propuestas y fuimos incluyendo comentarios, opiniones, valoraciones y ajustes en la actividad a partir de su puesta en práctica. Como recoge Pendlebury [3] de un trabajo de Confery: “Entro en ese contexto con mi programa preparado más o menos explícitamente y, como resultado de mi interpretación de las señales, permito, promuevo, desconozco, entiendo o me confundo. Llamo a esto una “práctica”, y las características que la definen son: su ritmo implacable, sus interacciones humanas, sus dimensiones normativas, sus objetivos contradictorios y su actividad.” (pp. 99).

Entendemos que es imprescindible generar un espacio en el cual los docentes puedan “mirarse” en su práctica. La necesidad de buscar estrategias que promovieran este tipo de reflexión surgió de la experiencia previa del profesor en el dictado del práctico.

Nos centramos en el análisis de la práctica referida desde algunas dimensiones teóricas que creemos pueden contribuir al desarrollo de este trabajo.

El modelo tecnicista de concebir la práctica ha logrado amplia difusión en el medio educativo, y de allí que se entienda la práctica como teoría aplicada. Es aquí donde surge la necesidad de rescatar la relación teoría – práctica, haciendo hincapié en que toda práctica tiene un referente teórico. Este referente teórico puede estar explicitado e identificado con diferentes líneas del pensamiento, o hacer parte de las creencias del docente, conformadas por las teorías implícitas, de las cuales no siempre se tiene conocimiento. En realidad, en toda práctica el referente teórico tiene un poco de cada uno de estos componentes, lo explícito y lo implícito, pero también tiene mucho de intuitivo. La relación teoría – práctica, según Cañal (1987), podemos entenderla en

términos de pensamiento y acción, con un enfoque individualista, que presupone una visión unilateral y racionalista, según la cual, las ideas orientan y dirigen la práctica.

Para desarrollar este análisis recurriremos a las cuatro dimensiones propuestas por Gudmundsdottir [4] para analizar los relatos y las narrativas de los docentes para abordar el concepto del saber pedagógico sobre los contenidos. Las dimensiones que elegimos teniendo en cuenta su pertinencia e interés para analizar nuestro caso son:

- a) La experiencia práctica, b) la interpretación, c) la reflexión, d) la transformación.

## 5 Conclusiones

Los prácticos de laboratorio representan una figura destacada en las prácticas de enseñanza de los docentes, más allá de que para ellos se presente como una prescripción curricular. Los prácticos de laboratorio hacen parte de la propuesta programática, allí se indican cuáles y cuándo se deben realizar para cumplir con el desarrollo del práctico. La propuesta curricular genera un divorcio entre teoría y práctica, originando una ambivalencia que se percibe, tanto en el discurso de los docentes como de los alumnos. En la totalidad de los cuestionarios de los alumnos, se registró que la actividad práctica se realiza para aplicar lo visto en el curso teórico. El docente argumentaba las siguientes finalidades para la realización de actividades prácticas: motivación, aplicación o demostración de algún principio, recolección de datos para comprobar algo. También mencionan que para ellos las actividades prácticas más interesantes son aquellas que sorprenden al alumno, que despiertan la curiosidad. Los docentes seducen a los alumnos a través del discurso y la actividad práctica propuesta. El conocimiento práctico del docente, que sustenta todas sus decisiones de enseñanza, no siempre llega al plano de la verbalización, por eso tal vez surgen las aparentes contradicciones cuando hablan de guías que se aplicarían como recetas, pero que no conciben con lo observado. Es decir, la demanda de la propia enseñanza por ser una actividad práctica, hace que el docente actualice su conocimiento práctico, que es implícito, y cuyos enunciados formales aún no se han concretado. Todo este proceso se enriquece en situaciones de intercambio y socialización de las diferentes propuestas de enseñanza.

A lo largo del trabajo fuimos exponiendo diferentes aspectos que entendemos centrales en la construcción de nuestra propuesta. Intentamos no sólo tomar referentes teóricos sino también presentar una experiencia propia, para rescatar desde allí el valor que otorgamos a la estrategia presentada. Somos conscientes de que en la construcción de esta propuesta incluimos elementos de diversas perspectivas y esta característica trae aparejadas algunas dificultades y complicaciones. Sin embargo optamos por este modo de trabajo porque entendemos que pueden enriquecer nuestra propuesta y creemos que pueden ser de utilidad para revisar nuestra práctica.

Esperamos que se puedan encontrar en el trabajo elementos de interés para su discusión y análisis que permitan a otros y a nosotros seguir construyendo una propuesta, que valoramos junto con los colegas destinatarios de la misma. Incentivamos el uso del relato como la posibilidad de dar sentido a lo pensado y

programado y a lo desarrollado y encontrar en la didáctica aportes para construir mejores prácticas a partir de esa práctica reflexiva.

La buena enseñanza no refiere a la enseñanza exitosa en términos de alcanzar los objetivos sino a aquella que tenga sentido moral y epistemológico. A partir del aspecto moral, se indaga acerca de la justificación de las acciones docentes a partir de principios morales. Desde la perspectiva epistemológica la buena enseñanza supone justificar lo que se enseña de manera racional y que sea digno de que el estudiante lo conozca, lo crea, lo entienda. [5]

## Referencias

1. Weber, V. El relato de experiencias como estrategia para la formación docente. CIVE Congreso Internacional Virtual de Educación. UBA. Universidad del Salvador. Buenos Aires. (2005)
2. Weber, V., (en colaboración con) Litwin, E.; Maggio, M.; Lipsman, M. (Coord.) Tecnologías en las aulas. Análisis de casos. Buenos Aires: Amorrortu. -En prensa. (2005).
3. Pendlebury, S. "Razón y relato en la buena práctica docente". En H. Mc.Ewan y K. Egan (comps) La narrativa en la enseñanza, el aprendizaje y la investigación. Buenos Aires: Amorrortu. (1998)
4. Gudmundsdottir, S. "La naturaleza narrativa el saber pedagógico". En H. Mc.Ewan y K. Egan (comps) La narrativa en la enseñanza, el aprendizaje y la investigación. Buenos Aires: Amorrortu. (1998)
5. Fenstermacher, G. "Tres aspectos de la filosofía de la investigación sobre la enseñanza". En M. Wittrock (comp), La investigación en la enseñanza. Enfoques, teorías y métodos I. México: Paidós. (1989)