

“Phrónesis y Simulación en la enseñanza de Protección Radiológica”

Einisman, C.^a

Asociación Argentina de Técnicos en Medicina Nuclear (AATMN), Argentina.

RESUMEN

Las fuentes de conocimiento de la Protección Radiológica (PR) son fundamentalmente las Ciencias Físicas y Biológicas. Es probable que la forma en la que se ha enseñado tradicionalmente PR esté asociada con su genealogía en las Ciencias Exactas, divididas en Teoría y Práctica. Para ello, típicamente se ha utilizado la secuencia didáctica: Teoría; Problemas; Trabajos Prácticos en Laboratorio y Prácticas Supervisadas, variando la relación entre ellas según el nivel educativo de los destinatarios y el objetivo de la formación. En el caso argentino, todos los usuarios que manipulan material radiactivo deben poseer un Permiso Individual emitido por la Autoridad Regulatoria Nuclear, para lo cual los contenidos básicos de PR constituyen una parte sustancial de la formación obligatoria. No obstante, aunque todos los miembros de esta comunidad conocen la teoría y sus medidas prácticas de implementación, su aplicación sistemática en escenarios de trabajo presenta una gran dispersión por parte de los trabajadores profesionalmente expuestos. El objetivo de este trabajo es presentar un sistema que replantea las bases epistemológicas de la enseñanza en PR y una secuencia didáctica asociada que integra el uso de simuladores, para su uso en Educación Superior y Formación Profesional, en aplicaciones tales como Salud, Minería o Industria. De modo tal, de lograr una reducción de la dosis ocupacional y fomentar una mayor conciencia radioprotectiva en los trabajadores profesionalmente expuestos.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de las Radiaciones Ionizantes (RI) está cada vez más difundido en diversas áreas de la producción y los servicios. Aplicaciones en Salud (Medicina Nuclear (MN), Radiología y Radioterapia); Industria del Petróleo (perfilaje y sondeo de pozos); Industria Metalúrgica (gamagrafía industrial); Control de fronteras y accesos (monitoreo de personas y mercancías), entre otros usos civiles, son algunas de las aplicaciones con las que convivimos. Algunas personas, lo hacen como trabajadores profesionalmente expuestos, usuarios de fuentes radiantes (en adelante: “usuarios”), y todos, en algún momento del día o de la vida, como pacientes o público.

La Protección Radiológica (PR) es la disciplina que estudia las medidas de cuidado y manejo seguro de las fuentes de radiación y sus bases de conocimiento son fundamentalmente la Física, la Biología y las Ciencias de la Salud. Probablemente, la forma tradicional en la que se la ha enseñado tenga que ver con su genealogía basada en las Ciencias Exactas, de matriz platónica, divididas en Teoría y Práctica. Para ello, típicamente se ha utilizado la secuencia: Teoría; Problemas; Trabajos Prácticos y Prácticas Supervisadas. En Argentina, todos los usuarios que manipulan material radiactivo deben poseer un Permiso Individual emitido por la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN), para lo cual los contenidos básicos de PR conforman parte sustancial de la formación obligatoria requerida para su solicitud, como por ejemplo en el caso de los Técnicos en Medicina Nuclear¹ o los Médicos Especialistas en MN².

^a presidencia@aatmn.org.ar

No obstante todos los miembros de esta comunidad de usuarios conocen la teoría y sus medidas prácticas de implementación, la correlación observada en los procedimientos es baja³. La dispersa implementación sistemática de las medidas básicas de PR en los procedimientos de los usuarios profesionalmente expuestos en su labor cotidiana, dispara la siguiente pregunta: ¿Cómo enseñar PR, de modo tal, de lograr una reducción de las dosis recibidas en el uso de fuentes abiertas de radiación a lo largo de la vida, fomentando una mayor conciencia radioprotectiva que lleve a un mejor nivel de cuidado cotidiano en los usuarios? De allí, que el objetivo general del presente trabajo sea presentar un sistema que integra el uso de simuladores en la enseñanza de la PR, para su uso en el Educación Superior, Capacitación y Formación Profesional.

2. MARCO TEÓRICO

El modelo tradicional de enseñanza de PR, aplica una diferenciación en el énfasis y carga horaria entre los contenidos teóricos y las habilidades prácticas, según la base de conocimientos fisicomatemáticos y especialmente, según la función a cumplir por los destinatarios de la formación. Esto implica mayor carga de contenidos teóricos para los físicos y más práctica para los operarios. No obstante, el efecto de la implementación crónica y anacrónica de estas categorías platónicas pareciera no satisfacer nuestras necesidades en el presente, ya que: *“Práctica y teoría están indisolublemente unidas, independientemente de la carga -si es que se pudiera separar- que cada una de ellas tienen.”*⁴. Para ello, la acción pedagógica, debe recrearse como herramienta para la mejora de la calidad en las prácticas profesionales y las condiciones de vida y trabajo de los usuarios. Éstos, tienen diferentes trayectorias formativas y laborales, lo que debe ser tomado en cuenta a la hora de pensar el lugar en y desde el cual se piensa la actividad pedagógica, que en este caso debería ser el de la recuperación y resignificación del valor del conocimiento como guía de la acción prudente en cada caso y cada momento de la actividad profesional.

La phrónesis, esa “sabiduría práctica” que menciona Aristóteles⁵ presenta, como tantos otros conceptos, desafíos de traducción⁶. No obstante, queremos poner de relieve la traducción de phrónesis como *prudencia*, por su afinidad con el objetivo de la PR y porque la noción de phrónesis basa su juicio en la deliberación técnica y política. Cuando pensamos los objetivos de largo plazo de la formación en PR y su impacto social y económico a futuro, nuestra preocupación es ética, en la medida que consideramos a la vida y la salud como un bien a preservar; política, porque involucra al trabajador, su comunidad y al rol del Estado como regulador y contralor. Más, los cuidados son fundamentalmente técnicos, tanto por los cálculos matemáticos como por su diseño e implementación.

Desde el punto de vista ético, implica una invitación a cambiar la perspectiva desde una ética de contenidos, que asume un decálogo de prescripciones y prohibiciones cuyo cumplimiento sería obligatorio y su desobediencia frecuente; hacia una ética formal kantiana, por aquello de: *“Obra sólo según una máxima tal que puedas querer al mismo tiempo que se torne ley universal”*⁷. Un desplazamiento desde el “deber ser” universal, hacia la singularidad de un “mejor así”.

En el campo educativo, Korthagen⁸ señala una diferenciación entre episteme y *phrónesis*.

La *episteme* se caracteriza por:

- Está dirigida al conocimiento de varias situaciones.
- Utiliza conceptos generales.
- Se basa en la investigación científica.
- Es *conceptual*: nos ayuda a entender diversas situaciones.

En contraste, la *phrónesis*:

- Está dirigida a la acción concreta, en una situación específica.
- Centra su atención en aspectos específicos de la situación (ciertos “indicios”).
- Se basa en las experiencias propias de cada uno.
- Es *perceptual*: forma nuestra percepción acerca de situaciones específicas.

Dentro del presente Sistema Didáctico diseñado para la enseñanza de PR, se encuentran los saberes, los docentes y los estudiantes, inmersos en una relación mayor conformada por la *episteme* y la *tekné*, medidas por la *praxis* y la *phrónesis*. Platón plantea la *episteme* como el campo de verdades inmutables e inteligibles, la cual implica necesariamente también una *praxis* para actuar en el mundo sensible, una acción diferente de la pura contemplación epistémica. La *tekné*, en cambio, es un procedimiento o conjunto de reglas, normas o protocolos que tiene como objetivo obtener un resultado determinado y efectivo. La *phrónesis*, es el modo de reflexión sobre cómo y por qué se debe actuar prudentemente en cada caso (Figura 3).

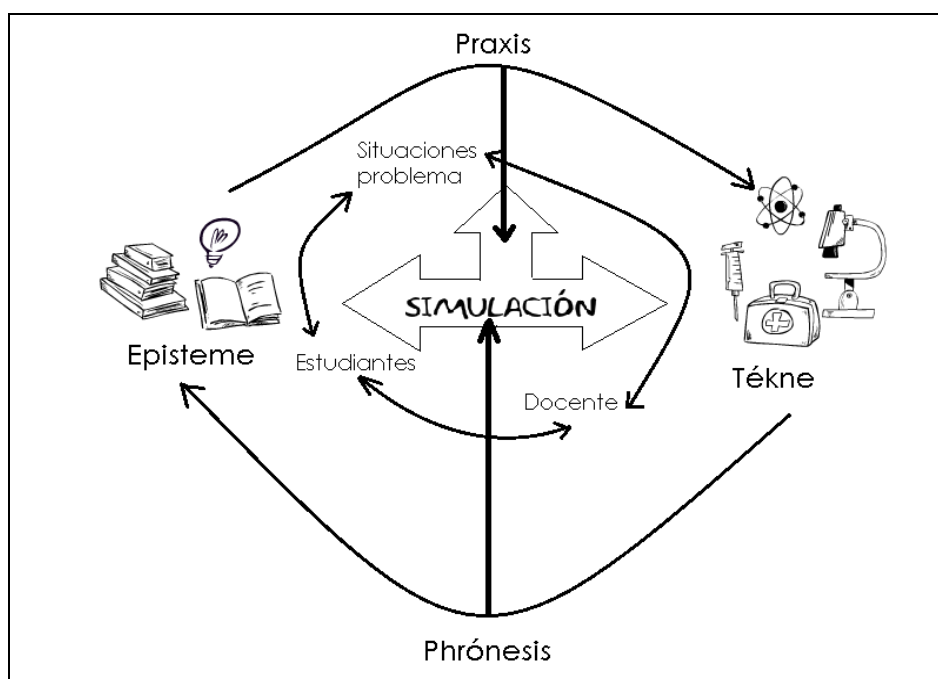


Figura 3^b

^b Diseño gentileza de la Lic. Victoria Güerci.

El propuesto, es un Sistema Didáctico a desarrollarse en entornos virtuales y/o presenciales teóricos-prácticos. De este modo, planteamos ampliar el campo de la didáctica hacia una didáctica específica para la enseñanza de la PR, cuyo nicho conceptual podrá ser fundamentado utilizando las categorías aportadas por la didáctica general, la didáctica de la física, la radioprotección y las teorías de enseñanza en entornos virtuales.

2.1. Phrónesis y Simulación

La presencia de las tecnologías de la información y la comunicación en la sociedad y en el sistema educativo es un dato innegable en los últimos años. Los programas de simulación y visualización han demostrado ser herramientas potentes en disciplinas tan diversas como la enseñanza de la matemática; las ciencias experimentales, la aeronavegación y la operación de reactores nucleares de potencia. La integración de las herramientas de cálculo en una interfaz amigable, permitirá el ensayo en diferentes escenarios de situaciones operativas propias de las diversas ramas de la industria y los servicios, pero sin los peligros asociados a la contaminación o exposición real a la RI.

El uso de entornos de aprendizaje informáticos modifica el tipo de saberes que se puede enseñar, así como también el conjunto de estrategias didácticas y problemas. En consecuencia, también es necesario transformar los modos en que se evalúa y se da soporte a los usuarios teniendo en cuenta las características de la tecnología. Tanto desde el punto de vista de los estudiantes como desde el de los docentes, el saber debe ser la esencia de la interacción con la tecnología. Sin embargo, este conocimiento no puede simplemente leerse en la pantalla, sino que debe surgir como resultado del proceso de interacción con la computadora. La existencia, versatilidad y potencia de la tecnología hacen posible y necesario reexaminar los procesos de enseñanza y de aprendizaje.

Este ambiente constituye lo que Arcavi y Hadas⁹ denominan “laboratorio virtual” en el cual los estudiantes pueden interactuar, investigar y aprender. Los autores reconocen cinco etapas que deben estar presentes para que dichas prácticas áulicas innovadoras resulten convenientes para el desarrollo de los procesos de enseñanza y de aprendizaje. Toda situación problema llevada a cabo en ambientes computarizados dinámicos debe ofrecer a los alumnos/as:

- La visualización.
- La experimentación.
- La sorpresa^c.
- La retroalimentación.
- Necesidad de pruebas y demostraciones.

Creemos primordial que los estudiantes logren establecer el vínculo existente entre el mundo observado en la pantalla de la computadora y generador de la sorpresa y el mundo teórico, basado en leyes fisicomatemáticas. Además, creemos imprescindible imbricar estos universos con el mundo laboral real, en dónde desempeñarán su labor junto a otros individuos. La experiencia indica que no es obvio para los estudiantes formalizar la relación entre estos

^c Según Platón, Sócrates planteaba que Sofía era hija de Taumante. O sea, que la Sabiduría es hija del Asombro, la Maravilla.

mundos, aun habiendo percibido la necesidad de establecer dicho vínculo. Por ello son fundamentales las intervenciones del docente en este paso de la pantalla de la computadora a las medidas de PR en cada procedimiento operativo, estableciendo así un proceso de retroalimentación que infunda y alimente la necesidad de justificar, probar y demostrar aquello que en un comienzo fue visualizado.

Para que esta nueva articulación sea posible en el campo de la PR, planteamos que la simulación es el recurso didáctico que relaciona los saberes y su efectivo desenvolvimiento en la práctica. El uso de simuladores, mediatiza la tríada didáctica: saber, docente, estudiantes, de modo que la praxis y la phrónesis sean puestas en juego y revisadas en conjunto. Para ello las secuencia didácticas planteadas para la utilización de estas herramientas deben entretrejer:

- Introducción Teórica con análisis de situaciones problema con visualización dinámica y proyección de dosis anual.
- Situaciones problema en simulador de Realidad Virtual (VR) o Realidad Aumentada (RA), con Elementos de Protección Personal y en escenarios simulados de trabajo (MN; Petróleo; etc.).
- Trabajos Prácticos supervisados con fuentes radiantes (no ionizantes o ionizantes), con detectores integrados vía interfaz al sistema de RA.

3. SIMULADOR DE EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN IONIZANTE

En consecuencia, se propone un nuevo recurso didáctico para la enseñanza de PR con fuentes abiertas. Se espera que al disponer de esta herramienta tecnológica los alumnos/as puedan centrar su atención en tomar decisiones, reflexionar, razonar y resolver problemas ligados a mejores prácticas operativas. Con este fin, se han ideado una serie de recursos de apoyo a los procesos enseñanza y de aprendizaje. En relación con la enseñanza de PR, se propone un simulador de exposición a la radiación ionizante, para la enseñanza en el nivel superior y capacitación en servicio, compuesto de tres fases:

- Simulador numérico.
- Simulador interactivo tipo “Job Simulator” de VR.
- Simulador interactivo con detectores asociados vía interfaz al sistema de RA.

3.1. Prototipo de Simulador Numérico

El Equivalente de Dosis Personal ($H_{p(10)}$) anual, es la sumatoria de las dosis de radiación ocupacional de los usuarios. En condiciones normales de labor, el aporte de una operación en particular es en general pequeño y difícil de ponderar con los métodos usuales de registro dosimétrico diferido, tales como el film monitor o la dosimetría termoluminiscente. Un objetivo del simulador numérico, es mostrar que el resultado dosimétrico obtenido a fin del año laboral (H), se debe fundamentalmente al modo de realizar las tareas cotidianas, tomando

en cuenta los días trabajados en un año calendario y según la jornada de trabajo (J) seleccionada por el usuario.

En la Figura 4, se muestra una captura de pantalla del prototipo del simulador numérico desarrollado para uso en el aula por el docente, mientras los alumnos operan simultáneamente la versión disponible para dispositivos móviles (Fig. 5). Este configura el primer paso en la presentación del problema de operar fuentes abiertas de radiación ante los alumnos.

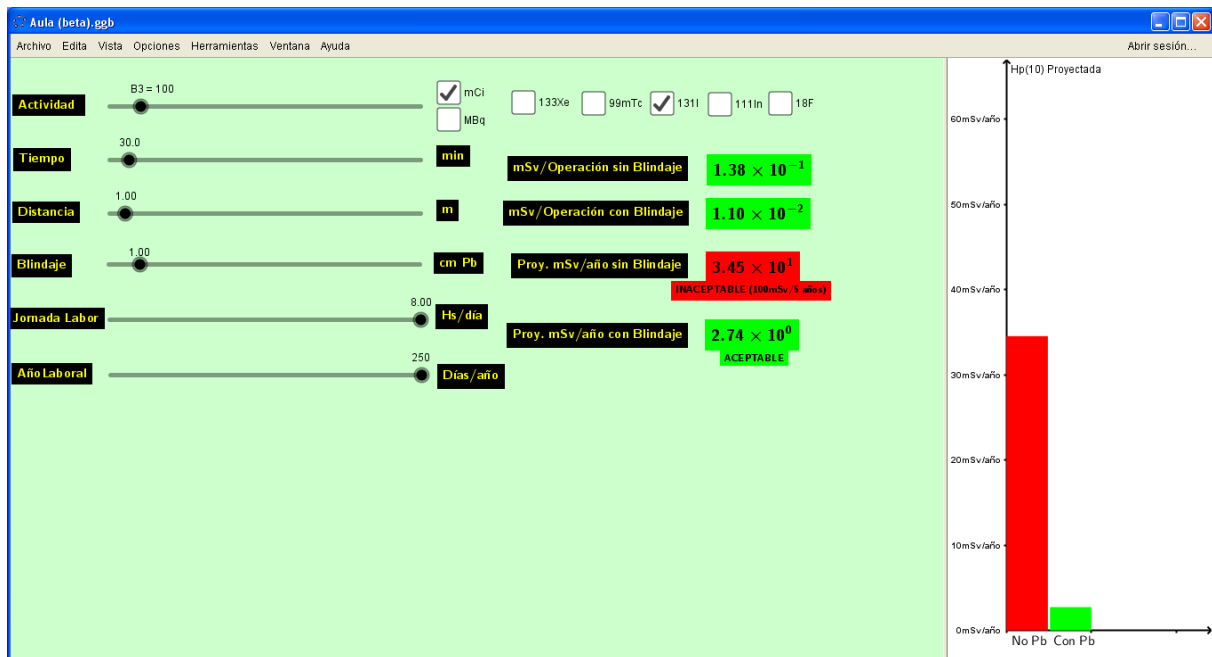


Fig. 4. Captura de pantalla del Simulador numérico para uso en el aula.



Figura 5: Captura de pantalla del Simulador numérico para dispositivos móviles.

El entorno utilizado (Geogebra) permite la visualización por separado de cada una de las vistas. En nuestro caso, de Izq. a Der. se observa en la Fig.4:

- Vista Gráfica 1: Muestra y permite la variación de las variables físicas y las de condiciones de trabajo, dentro del rango asignado (Tabla 1):
 - Variables independientes por medio de los deslizadores (A; t; d; x; J; H).
 - Selector de unidad de Actividad.
 - Selector de Radioisótopos.
 - $H_{p(10)}$ por operación, sin y con blindaje.
 - $H_{p(10)}$ proyectada anual, sin y con blindaje.

Tabla 1: Descripción de las variables físicas y de condiciones de trabajo.

Variable	Concepto	Rango [min; máx]	Unidad
A	Actividad	[0;1000]	mCi
		[0;37000]	MBq
t	Tiempo de exposición	[0;480]	min
d	Distancia a la fuente	[0,01;20]	m
x	Espesor del blindaje (Pb)	[0;10]	cm
J	Duración de Jornada Laboral	[0;8]	h/día
H	Días trabajados por año	[0;250]	días/año

- Vista Gráfica 2: Muestra en gráfico de barras, el valor de la $H_{p(10)}$ proyectada sin blindaje (Der.) y con blindaje (Izq.).

Una decisión de diseño, es que el simulador permita mostrar gráficamente para una misma operación, la proyección anual de $H_{p(10)}$ sin y con la utilización de blindajes, a fin exponer el resultado de las decisiones generales y modos de operar con fuentes radiantes.

En la Vista Gráfica 1, sobre la izquierda de la pantalla, se pueden seleccionar las variables, a saber:

- Por casilla de verificación:
 - El isótopo a utilizar entre cinco utilizados en MN: ^{133}Xe ; ^{99m}Tc ; ^{111}In ; ^{131}I ; ^{18}F , ordenados por Constante Específica de Radiación Gamma^{10,11} (Γ) creciente^d.
 - La unidad en la que se expresa la Actividad.
- Por medio de deslizadores: Las variables físicas (A; t; d; x), más las asociadas a las condiciones de trabajo del usuario (J; H) en particular.

^d El listado de radioisótopos puede adecuarse para otras aplicaciones.

Estas variables físicas representan situaciones particulares, cuyo aporte de dosis se desea conocer y proyectar anualmente. Se ha diseñado el programa de modo tal, que el valor del tiempo de exposición de una práctica (t), siempre sea menor o igual al valor de la duración de la Jornada Laboral (J). Se implementaron polinomios de regresión, surgidos de mediciones experimentales publicadas¹² para el cálculo del Factor de Build Up (B) o factor de acumulación. Para el rango de valores considerado, se obtuvo una correlación aceptable a efectos de la simulación.

Sobre el margen derecho de la pantalla se muestran dos gráficos de barras:

- Izq: Equivalente de Dosis Personal ($H_{p(10)}$) [mSv] anual proyectado como resultado de realizar una cierta operación sin la utilización de blindaje.
- Der: Equivalente de Dosis Personal ($H_{p(10)}$) [mSv] anual proyectado como resultado de realizar una cierta operación con la utilización del espesor de blindaje seleccionado.

La escala de colores de fondo de $H_{p(10)}$ [mSv], cambia siguiendo los valores de Restricciones de Dosis (RD) y Límites Individuales (LI) que surge de la Normativa vigente^{13,14} y la elección de los colores de fondo, por asociaciones usuales para los usuarios, tales como los semáforos de tránsito (Tabla 2).

Tabla 2: Criterios y escala de colores del Simulador Numérico.

$H_{p(10)}$ [mSv] anual proyectada	Condición	Color de Fondo	Leyenda
$H_{p(10)} < 0,01$	Optimizada	Verde	A.L.A.R.A.^e
$0,01 \leq H_{p(10)} \leq (0,75 \cdot J)^f$	$\leq RD$	Verde	ACCEPTABLE
$(0,75 \cdot J) < H_{p(10)} \leq 20$	$> RD$ $\leq LI 20 \text{ mSv}$ (Promedio de 100 mSv/5años)	Amarillo	TOLERABLE
$20 < H_{p(10)} \leq 50$	$> LI 20 \text{ mSv}$ $\leq LI 50 \text{ mSv/año}$	Rojo	INACCEPTABLE
$H_{p(10)} > 50$	$> LI 50 \text{ mSv/año}$	Negro	INACCEPTABLE

^e Acrónimo de “As Low As Reasonably Achievable” o “Tan bajo como sea razonablemente alcanzable”. A efectos didácticos, consideramos optimizado un modo de procedimiento profesional con RI que aporte una $H_{p(10)}$ anual $< 0,01 \text{ mSv}$. Norma AR 10.1.1, Criterio 2.

^f En MN, la Restricción de Dosis es de 6 mSv por 8 hs de jornada laboral o su parte proporcional. Norma AR 8.2.4, Criterio 13.

Ambos prototipos del Simulador Numérico (Aula y Dispositivos Móviles), comparten el sistema de cálculo. Siendo la diferencia la facilidad de visualización adaptada a pantallas de pequeño formato.

Los prototipos de los Simuladores de VR y RA se encuentran en fase de desarrollo.

4. CONCLUSIÓN

Consideramos que el Sistema Didáctico propuesto constituye una innovación tanto en el campo de las Didácticas Específicas como en la propia Protección Radiológica, toda vez que no sólo permitirá una mejora en la enseñanza, sino que redundará en una disminución de las dosis de radiación de los trabajadores profesionalmente expuestos impactando positivamente en el cuidado de su salud y la de las generaciones futuras.

Para que ello sea posible, es necesaria la creación de Secuencias Didácticas que reviertan la modalidad actual de la enseñanza de la PR. Para ello, teoría y práctica profesional deben entretenerse mediante una reflexión crítica. El objetivo no es lograr profesionales con un alto bagaje teórico que luego, en un abuso de autoconfianza, no cumplan con las normas de PR, sino formar generaciones capaces de reflexionar sobre las leyes y teorías físicas y por ello, sean capaces de implementar buenas prácticas laborales, e incluso propongan mejoras e innovaciones creativas.

Las decisiones que los docentes implementen en aula serán determinantes en el tipo de relación que los futuros profesionales tendrán con el saber y el mundo laboral. Es por ello que se propone construir y debatir los conceptos que subyacen a la PR mediante el uso de simuladores. Así, por ejemplo, conceptos difundidos no deben ser “dados” por el docente como una fórmula mágica, sino que pueden ser construidas por los estudiantes en la discusión entre lo observado en la interfaz gráfica del software, los preconceptos y lo normado. Asimismo, sería interesante ensayar un abordaje integral de PR que incluya los Factores Humanos en las Instalaciones Clase II y III, tal como ya se implementó en otras ramas de la Industria Nuclear.

Todo esto en vista de una mejora de las condiciones de trabajo y preservación de la salud de los profesionales expuestos.

5. REFERENCIAS

-
- ¹ Autoridad Regulatoria Nuclear. “Resolución 75/2004”.
<http://www.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/100000-104999/100882/norma.htm>
- ² Autoridad Regulatoria Nuclear. “Permisos Individuales para el Empleo de Material Radiactivo o Radiaciones Ionizantes en Seres Humanos”. Norma AR 8.11.1. Rev. 2. Criterio D2-11”.
- ³ Einisman, C. “*Indicadores para la optimización procedimental en Medicina Nuclear*”. Tesis de Licenciatura en Diagnóstico por Imágenes con orientación en Medicina Nuclear. Repositorio de Tesis de Grado y Posgrado. Biblioteca Central. Universidad de General San Martín (2013).
- ⁴ Muñoz, F., Martínez López, C., Jiménez Arenas J., “Phrónesis, Prudentia y Praxis . Teorías y Prácticas de la Paz”. *Las Praxis de la Paz y los Derechos Humanos. Joaquín Herrera Flores In Memoriam*. pp. 31-57. Universidad de Granada (2012).
- ⁵ Aristóteles. “Ética a Nicómaco”. Patricio de Azcárate. Obras de Aristóteles. Volumen 1 (1094a 1). Madrid (1873).
- ⁶ Pereda, C., “Sobre el concepto de Phrónesis”. *Thémata, Revista de Filosofía*, Nº 28. México (2002).
- ⁷ Kant, E. “Fundamentación de la metafísica de las costumbres”. Trad. Manuel García Morente, México. Porrúa, (1990).
- ⁸ Korthagen, Fred A.J. "La práctica, la teoría y la persona en la formación del profesorado". *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, pp. 83-101, Agosto, 2010.
- ⁹ Arcavi, A., Hadas N., “El Computador como medio de aprendizaje: Ejemplo de un enfoque”. Traducción libre realizada por: Mejía P., M.F. Documento de Trabajo del Grupo EM&NT. Area de Educación Matemática, Instituto de Educación y Pedagogía, Universidad del Valle (2003).
- ¹⁰ Shleien, B. “*The Health Physics and Radiological Health Handbook*”. Scinta. Silver Springs. USA (1992).
- ¹¹ Madsen et al.: “AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding”. *Medical Physics*, Vol. 33, No. 1, pp. 4-15. January 2006.
- ¹² Trubey, D. “New Gamma-Ray Buildup Factor Data For Point Kernel Calculations: Ans-6.4.3 Standard Reference Data”. Oak Ridge National Laboratory. USA (1988).
- ¹³ Autoridad Regulatoria Nuclear, Norma 8.2.4, Revisión 1. *Uso de fuentes radiactivas no selladas en instalaciones de medicina nuclear*. Aprobada por Resolución del Directorio de la Autoridad Regulatoria Nuclear Nº 18/02 (Boletín Oficial 22/7/02). Criterio Nº 13 (2002).
- ¹⁴ Autoridad Regulatoria Nuclear. Norma AR 10.1.1. Revisión 3. “Norma Básica de Seguridad Radiológica” (2001). Modificada por Resolución del Directorio de la Autoridad Regulatoria Nuclear Nº230/16 (Boletín Oficial 29/04/16).