

Especialización en la Enseñanza de las Ciencias Experimentales y Matemática

Escuela de Humanidades. Universidad Nacional de San Martín

Trabajo Integrador Final

Diseño y Análisis de Simuladores para la Enseñanza de la Reconstrucción Tomográfica en SPECT.

Lic. Roberto Galli

Director: Mg. Víctor Furci

Marzo de 2018

Índice	Pág.
1. Introducción	3
2. Estado actual del conocimiento	6
3. Objetivos	8
4. Marco teórico	9
4.1 La reconstrucción tomográfica en SPECT	9
4.2 Una epistemología de las ciencias experimentales	10
4.3 El problema de la educación en ciencias	11
4.4 El trabajo experimental en la educación en ciencias	12
4.5 Las prácticas de laboratorio como investigación	13
4.6 Ejercicios y problemas. Los problemas de lápiz y papel	15
4.7 El aprendizaje significativo de conceptos y teorías	17
4.8 La teoría del aprendizaje significativo	18
4.9 El modelo de aprendizaje como investigación	20
4.10 Las TIC en la enseñanza de las ciencias	22
4.11 El uso de simuladores en la práctica experimental	24
4.12 Un enfoque semiótico sobre las tecnologías educativas	26
5. Material y métodos	28
5.1 El diseño como parte del modelo de aprendizaje como investigación orientada	28
5.2 Diseño de un simulador para la enseñanza de la reconstrucción tomográfica	29
5.3 La implementación de mejoras más allá del diseño original	31
5.4 El problema de interés como estructurante en el diseño	32
5.5 La disección del simulador	44
5.6 Análisis del diseño como estrategia de aprendizaje	45
5.7 Relación con el material teórico sobre los fundamentos de la reconstrucción tomográfica	49
6. Resultados	51
7. Discusión	54
8. Conclusiones	57
9. Bibliografía	58

1. Introducción

La adquisición de imágenes médicas y la reconstrucción tomográfica de las mismas con fines de diagnóstico, es una tarea habitual en todo servicio de tomografía axial computada, medicina nuclear o resonancia magnética por imágenes. Los departamentos de diagnóstico por imágenes hospitalarios o los pertenecientes a las instituciones sanitarias de los que dependen estos servicios requieren de personal técnico y profesional con un alto grado de formación y capacitación en diversas áreas. Sus competencias profesionales abarcan desde el manejo del paciente, la utilización de radiofármacos y fuentes emisoras de radiaciones ionizantes hasta el empleo de instrumental médico de alta complejidad para la obtención de imágenes clínicas.

La Escuela de Ciencia y Tecnología (ECyT) de la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM) ha formado técnicos y profesionales en las áreas del diagnóstico por imágenes y física médica por más de 20 años. Del área de Física Médica de la ECyT dependen varias carreras, entre las que podemos mencionar la Tecnicatura Universitaria en Diagnóstico por Imágenes (TDI), la Licenciatura en Diagnóstico por Imágenes y la Licenciatura en Física Médica.

Una de las características principales de la TDI, que la distingue en relación a otras ofertas académicas similares del área de la radiología, es su fuerte formación en ciencias fisicomatemáticas. Entre las veintiséis materias que debe cursar el alumno de la TDI, se encuentran tres asignaturas de matemáticas, tres de física, dos de informática y procesamiento digital de imágenes, cuatro de tecnología de las imágenes, Radiología, Tomografía Computada (TC), Medicina Nuclear (MN) y Resonancia Magnética por Imágenes (RMI) y cuatro materias de prácticas hospitalarias en servicios de imágenes.

Sin embargo, esto que en principio es considerado dentro de la ECyT como una fortaleza frente al otro tipo formación académica basada fundamentalmente en el estudio de la anatomía y las técnicas radiológicas, no deja de verse afectado por la problemática generalmente observada en la educación en ciencia y tecnología y las dificultades conocidas por los docentes respecto a la formación práctica en los servicios hospitalarios de diagnóstico por imágenes.

¿Cuáles son los problemas de la educación en ciencias?

¿Cuáles son los problemas observados respecto a la formación del alumno en los servicios hospitalarios?

¿Cuáles son las situaciones que limitan o impiden el correcto desarrollo de las prácticas clínicas en los servicios de diagnóstico por imágenes?

¿Cómo podemos mejorar la práctica experimental?

La educación científica se ha convertido en un componente fundamental para el desarrollo humano. Sin embargo, las expectativas surgidas respecto al aporte que las ciencias podían realizar al desarrollo de la sociedad moderna no se han cumplido en muchos de sus aspectos, observándose en cambio, un fracaso generalizado marcado por un continuo rechazo de los estudiantes de educación media, al aprendizaje de la ciencia y hacia la ciencia en sí misma (Fernández, 2005; citado por Gil Pérez, 2005).

El estudio de la enseñanza de las ciencias ha puesto en evidencia la transmisión de grandes distorsiones respecto de la naturaleza de la ciencia y de la actividad científica. La transmisión de estas visiones empobrecidas y deformadas, respecto a la forma en que se construye y evoluciona el conocimiento científico, son algunas de las causantes del desinterés y el rechazo de muchos estudiantes, convirtiéndose en un obstáculo para su aprendizaje.

Debido a esto, se ha buscado la manera de dar solución a la falta de interés del alumno por el estudio de las ciencias y superar una forma de enseñanza basada fundamentalmente en el uso del libro de texto (Lazarowitz y Tamir, 1994; Lunetta, 1998; citados por Furió, en Gil Pérez, 2005). Muchas de las propuestas se han diseñado a partir de la incorporación de diversas prácticas experimentales a la enseñanza de las ciencias. De hecho, tanto los profesores de ciencias como los propios alumnos, consideran el paso hacia una enseñanza eminentemente experimental como una tarea aún pendiente, pero necesaria para lograr la familiarización de los estudiantes con la naturaleza de la actividad científica.

El trabajo experimental tiene en la actualidad una pobre presencia en la enseñanza de las ciencias y la orientación de las pocas prácticas realizadas contribuye a mantener esa visión distorsionada y empobrecida de la actividad científica. Por este motivo, es necesario producir una profunda reorientación de las prácticas de laboratorio que se asemeje más a las formas utilizadas en la investigación científica, dejando atrás la idea de un trabajo exclusivamente “experimental” e integrando muchos otros aspectos igualmente esenciales de la actividad científica (Gil Pérez, 2005).

Las prácticas hospitalarias realizadas en hospitales públicos o en instituciones de diagnóstico, presentan características propias de la tarea asistencial y de la atención del paciente, por ser consideradas como una práctica profesional o formación en servicio. Tanto por la complejidad del diseño de algunos procedimientos y por su duración, como por la imposibilidad de realizar observaciones o mediciones múltiples en diversas situaciones y/o configuraciones de los instrumentos de imágenes, muchos docentes hemos observado

que las prácticas clínicas se ven limitadas enormemente en su realización, particularmente cuando las mismas deben realizarse con el paciente en estudio, debiendo respetar la situación del enfermo, la dinámica de los estudios y la organización de la práctica asistencial en el servicio.

Aún operando con los equipos de imágenes, en momentos en los que se esté trabajando sin el paciente, las limitaciones temporales y la colaboración requerida del personal asistencial puede estar grandemente limitada.

De la misma forma, se ve muy acotada la comprensión de muchos procedimientos tecnológicos utilizados durante la realización de los estudios clínicos. Los diferentes pasos que constituyen el proceso de adquisición y procesamiento de estudios radiológicos y tomográficos son totalmente “transparentes” al operador, es decir, no son visualizados ni presentados de forma alguna en la pantalla de la computadora, siendo generalmente inadvertidos por el operador del instrumento de imágenes. En muchas situaciones, un operador puede realizar dichos procedimientos de forma rutinaria y automatizada, desconociendo en detalle cada uno de los pasos y sin conocer los fundamentos del proceso en curso.

Por esta razón, los alumnos se encuentran frecuentemente frente a diversas situaciones que limitan o impiden totalmente el correcto desarrollo de las prácticas clínicas o aquellas experiencias que deben ser realizadas frente a los instrumentos de imágenes, no alcanzando totalmente los objetivos propuestos para su formación y capacitación.

¿Cómo puede mejorarse la práctica hospitalaria en los servicios de imágenes?

Dadas las limitaciones observadas durante las prácticas hospitalarias, la simulación de la adquisición y procesamiento de imágenes tomográficas y de otro tipo de prácticas relacionadas con los estudios clínicos, son de gran utilidad por su variabilidad y potencial repetitividad fuera del ámbito asistencial. De esta forma, el uso de simulaciones podrá realizarse tanto en el laboratorio de imágenes como fuera del mismo, mediante el uso de aplicaciones que el alumno podrá ejecutar inclusive en otros ámbitos con su computadora personal.

Resultan de gran interés este tipo de aplicaciones, debido a que ofrecen la posibilidad de que el alumno desarrolle una multiplicidad de habilidades, destrezas y conocimientos mediante el uso de herramientas propias de las Tecnologías Digitales (TD). Rompiendo así con las formas tradicionales del aprendizaje basado casi exclusivamente en el libro de texto, mal llamado “teórico”, y contribuyendo a una mayor comprensión sobre la estrecha vinculación existente entre ciencia y tecnología.

2. Estado actual del conocimiento

Desde los primeros simuladores de vuelo hasta los más populares simuladores de carreras de autos, la simulación de sistemas o procesos ha ido alcanzando las más diversas áreas del conocimiento.

Los programas educativos, denominados también software educativo o programas educativos (Marques, 1995; citado por Cataldi, 2000), pueden ser clasificados de diferentes formas. Así, se clasificarán en tutoriales, simuladores, entornos de programación y herramientas de autor. Algunos autores clasifican los programas educativos utilizando un enfoque simple, de esta manera, Squires y Mc Dougall (1994; citados por Cataldi, 2000), los clasifican en los de tipo genérico o específico, derivando luego en una clasificación por tipo de aplicación. Otros autores clasifican los programas educativos por su función educativa y por su fundamentación educativa. Precisamente Taylor (1980; citado por Cataldi, 2000), lo hace con un criterio funcional, clasificándolos dentro de las funciones de tutor, herramienta o tutelado. De acuerdo con la clasificación por fundamentación educativa, Kemmis, Atkin y Wright (1973-1975; citados por Cataldi, 2000), lo hacen en referencia a tres paradigmas educativos, el paradigma instructivo, revelador y de conjeturas, agregando luego un paradigma emancipador (Cataldi, 2000).

Las simulaciones y los simuladores son empleadas cada vez con mayor frecuencia para la educación y entrenamiento en el área de salud. Diversos tipos de simuladores pueden ser empleados en variadas circunstancias que reproducen situaciones clínicas, así, estos simuladores suelen clasificarse en simulaciones por computadora, simulaciones por realidad virtual, simulaciones por juegos de rol y simulaciones con maniqués o modelos anatómicos, entre otros (Velasco, 2013).

La educación basada en simulaciones varía considerablemente entre las distintas profesiones del área de la salud y las instituciones educativas, siendo considerada como un método eficaz para proporcionar un ambiente seguro para la práctica reiterada realizada por los estudiantes y expertos, sin riesgo de daño para los pacientes y los estudiantes.

Algunos de los desarrollos más avanzados en educación hospitalaria son las salas de simulación. Estas tienen la capacidad para ser utilizadas como una sala de emergencias, un quirófano o una sala de cuidados intensivos. La sala alberga a un maniquí antropomórfico de alta fidelidad, que puede ser programado para imitar una gran variedad de signos y síntomas. Puede ser programado para responder al tratamiento o para deteriorarse dependiendo del objetivo propuesto. La simulación permite a los participantes situarse en distintos escenarios, donde tienen que tomar decisiones, realizar procedimientos y

comunicarse en equipo. Permite realizar intervenciones como el acceso a las vías aéreas, cirugía de descompresión, desfibrilación y punción por neumotórax. La sala cuenta con cámaras instaladas que permiten la transmisión en vivo a otros espacios educativos, así como grabar la sesión con fines didácticos, producción de informes y proyectos de investigación (Milkins, 2014).

Otros desarrollos, del tipo de simulaciones por computadora, son las mesas de anatomía virtual 3D. Éstas permiten a estudiantes y profesionales de todas las disciplinas ver y tocar un cuerpo humano virtual completo, desplazándose a través de varios planos por el volumen 3D. Pueden seleccionarse determinadas estructuras incluyendo pequeños nervios y vasos sanguíneos o visualizarse el cuerpo como un todo, tanto desde el exterior como desde el interior de la anatomía. Puede seleccionarse la anatomía femenina o masculina y las exploraciones pueden cargarse para permitir a los estudiantes observar las diferencias anatómicas y las diferentes patologías. Los tutores pueden utilizar la mesa para enseñar anatomía fácilmente, permitiendo rotaciones y ampliaciones que los alumnos realizan con sus propios dedos, facilitando la disección continua en diferentes planos y el reinicio de la sesión en cualquier instante (Milkins, 2014).

También se han diseñado simuladores para la práctica en Tomografía Axial Computada y Resonancia Magnética por Imágenes, aunque de carácter muy general, están orientados a reproducir el manejo del paciente en la sala de estudios y la selección de procedimientos y protocolos clínicos.

3. Objetivos

El presente trabajo tiene como objetivo el diseño y desarrollo de simuladores para la enseñanza de la reconstrucción tomográfica en SPECT.

Se desarrollará una aplicación, del tipo de simulación por computadora, que pueda ser utilizada por el alumno tanto en ámbito educativo como fuera de él. La utilización del simulador y el análisis de su estructura y funcionamiento será de utilidad para la enseñanza de los conceptos teóricos y la realización de las prácticas experimentales relativas a la reconstrucción tomográfica en SPECT, en el marco de la cursada de las carreras Tecnicatura Universitaria en Diagnóstico por Imágenes y Licenciatura en Diagnóstico por Imágenes u otras carreras con contenidos afines dictadas en la ECyT de la UNSAM.

Por otra parte, se plantea el diseño y desarrollo de estas aplicaciones en el marco de una propuesta educativa basada en el modelo de investigación orientada, dirigida a aquellos casos en que los alumnos desarrollen sus proyectos de tesis de licenciatura. De igual forma, el desarrollo de mejoras e innovaciones en la aplicación podrá ser implementada en el marco de nuevos proyectos de tesis de grado, en las carreras del área de física médica y diagnóstico por imágenes de la Escuela de Ciencia y Tecnología de la UNSAM.

4. Marco teórico

4.1 La reconstrucción tomográfica en SPECT

La medicina nuclear es una especialidad médica que emplea sustancias radioactivas para el diagnóstico, estudio y tratamiento de las enfermedades. Los distintos procesos fisiológicos pueden ser estudiados en MN, siguiendo la dinámica de ciertos trazadores radiactivos al ser introducidos en el organismo de los seres vivos. La medición de la radiación emitida por estas sustancias puede ser registrada desde el exterior del organismo mediante el uso de instrumental adecuado, pudiendo conocerse la biodistribución de estos radiotrazadores y posibilitando así el diagnóstico de las enfermedades.

Los instrumentos para la producción de bioimágenes empleados en MN están constituidos por detectores que miden la radiación electromagnética emitida principalmente en la forma de fotones gamma. Los sistemas de SPECT (del inglés, Single Photon Emission Computed Tomography, Tomografía Computada por Emisión de Fotón Único) y de PET (del inglés, Positron Emission Tomography, Tomografía por Emisión de Positrones) forman parte de una serie de instrumentos desarrollados para la adquisición de un conjunto de proyecciones que se obtienen alrededor del paciente a diferentes ángulos, a partir de las cuales se podrá realizar la reconstrucción tomográfica, obteniendo un conjunto de cortes tomográficos que mostrarán la distribución del radiofármaco en el volumen 3D del paciente en estudio (Cherry, 2012).

La adquisición de imágenes y su reconstrucción tomográfica tiene sus fundamentos matemáticos en la transformada de Radon (1917). La reconstrucción de estos datos puede ser realizada por diversos métodos, algunos de tipo analítico, entre los que se encuentra el de Retroproyección Filtrada, y otros del tipo estadístico-iterativos, como el MLEM (Maximum Likelihood of Expectation Maximization) y OSEM (Ordered Subsets Expectation Maximization) (Bruyant, 2002).

Las imágenes tomográficas son ampliamente utilizadas para el diagnóstico médico, tanto en MN como en TC o RMI. Estas tres modalidades, constituyen junto a la radiología y la ecografía, los departamentos de diagnóstico por imágenes en las instituciones sanitarias.

La ventaja de las imágenes tomográficas por sobre las proyecciones planares, se logra a partir de su mayor resolución de contraste y la mejora en la separación de estructuras y en la ubicación espacial de las lesiones en los diferentes cortes transversales, coronales y sagitales, lo que permite obtener una mayor sensibilidad y certeza diagnóstica en los estudios tomográficos.

4.2 Una epistemología de las ciencias experimentales

El conocimiento científico es fáctico, surge de los hechos. La ciencia intenta describir los hechos tal como son, pero todo conocimiento fáctico es falible. Las ciencias fácticas confirman o falsan las hipótesis y las teorías, pero aún aquellas que puedan ser contrastadas, son transitorias, provisionales y perfectibles.

Así lo entiende la epistemología, del griego: *episteme*, conocimiento y *logos*, teoría. Conocida como la filosofía de la ciencia, la epistemología es una rama de la filosofía que estudia la investigación científica y su producto, el conocimiento científico (Bunge, 1980).

De igual modo, entendiendo la epistemología como el estudio del conocimiento científico, las condiciones de producción y validación, Klimovsky (1994) también hace uso del término aunque en un sentido más restringido, dado que cuestiona la identificación de la epistemología con la filosofía de la ciencia, debido a que esta última, como la filosofía en general, abarca muchas cuestiones acerca del conocimiento que no son estrictamente de orden epistemológico.

Hasta hace medio siglo la epistemología era sólo un capítulo de la gnoseología o teoría del conocimiento. Se ocupaba de cuestiones tales como la clasificación de las ciencias, la naturaleza y el alcance del conocimiento científico y la posibilidad de edificar la ciencia inductivamente a partir de las observaciones. Una epistemología de la actualidad, por otra parte, advertirá sobre los problemas semánticos, ontológicos, axiológicos, éticos y de otro tipo que se presentan tanto en el curso de la investigación científica como en el de la reflexión metacientífica.

La investigación científica es metódica. La ciencia fáctica emplea el método experimental concebido en un sentido amplio. Este método no consiste en un conjunto de recetas infalibles para encontrar la verdad, sino que utiliza prescripciones falibles, perfectibles, empleadas para plantear los problemas, planificar las observaciones y los experimentos y para interpretar sus resultados. Propone la puesta a prueba de las conclusiones particulares extraídas de las hipótesis. En definitiva, es la manera en que la ciencia inquiera lo desconocido.

Nada caracteriza el conocimiento científico de forma tan determinante como la forma, o el método por el cual la investigación científica es llevada a cabo, incluso cuando la búsqueda de la verdad, la explicación de los hechos, sea su principal objetivo. Y aún cuando la verdad pueda conocerse por otros medios, como a través de la consulta de publicaciones científicas de otros investigadores, la aceptación de sus datos es solo transitoria, aunque se presuma que han sido obtenidos con procedimientos acordes con el método científico.

En consecuencia, para que una parte del conocimiento pueda ser denominado "científico", no alcanza, ni es imprescindible que sea verdadero. Sin embargo, es necesario conocer cómo se ha llegado a saber, o a presumir que un dato enunciado es verdadero. Es necesario entonces enumerar las operaciones empíricas o racionales, por las cuales pudo haber sido verificable de una manera objetiva.

El método hipotético deductivo se ha convertido en el método de elección en muchas disciplinas científicas, aunque no se ha constituido en una metodología única y aplicable a todas las ciencias.

Puede discutirse aún su alcance, su utilización en campos de la ciencia como los regidos por las leyes probabilísticas o estadísticas y particularmente el de las ciencias humanas y sociales, pero difícilmente pueda negarse el valor que tradicionalmente se le ha adjudicado en cuanto a su objetividad, su racionalidad o su pertinencia para la construcción de conocimiento.

Sin embargo, existe en gran parte de la sociedad una visión distorsionada de la ciencia y de su metodología, tal como se verá más adelante, que se caracteriza por su forma empírica-inductivista, rígida, infalible y permanente.

Las opiniones críticas con respecto a la ciencia y su metodología son muchas y variadas. No solo la epistemología debe participar de su análisis y discusión. Se requerirá de un estudio amplio y detallado, de carácter interdisciplinario, que implica la discusión de cuestiones muy diversas en los campos de la filosofía, lógica, lingüística, ética, epistemología y metodología, entre otras.

4.3 El problema de la educación en ciencias

La educación científica se ha planteado como una necesidad para el desarrollo humano, tanto en el orden personal como a nivel social. Sin embargo, las expectativas surgidas respecto al aporte que pudieran realizar las ciencias al desarrollo de la sociedad moderna no se han cumplido en muchos de sus aspectos y se observa un fracaso generalizado, marcado por un continuo rechazo de los estudiantes de la escuela media al aprendizaje de la ciencia y hacia la ciencia en sí misma (Fernández, 2005; citado por Gil Pérez, 2005).

El estudio de la enseñanza de las ciencias ha puesto en evidencia la transmisión de grandes distorsiones respecto de la naturaleza de la ciencia y de la actividad científica. Estas visiones empobrecidas y deformadas que se alejan notoriamente de la forma como se construye y evoluciona el conocimiento científico, generan el desinterés y el rechazo de

muchos estudiantes y se convierten en un obstáculo para su aprendizaje. Por esta razón, la mejora necesaria en la educación científica requiere modificar la imagen de la naturaleza de la ciencia que los profesores tienen y transmiten a sus alumnos.

Debido a esto, la enseñanza científica, incluida la de nivel universitario, se ha reducido básicamente a la presentación de un cuerpo de conocimientos ya elaborado, sin ofrecer a los estudiantes la posibilidad de conocer y participar de las actividades propias y características de la actividad científica.

Así, persiste en la actualidad la idea de una visión deformada de la ciencia, que se caracteriza por su condición de individualista y elitista, descontextualizada, apromblemática, empiro-inductivista, rígida, algorítmica, infalible, exclusivamente analítica y acumulativa.

A esta concepción empiro-inductivista dominante en el profesorado de ciencias, se le atribuye generalmente la deformación que identifica a la metodología del trabajo científico con la realización de experimentos. La que se encuentra fuertemente influida por una imagen de la ciencia que desconoce su naturaleza social e ignora la multiplicidad de facetas que caracterizan al trabajo científico, desconociendo además otras formas de contrastación de conceptos y teorías diferentes a las alcanzables a través del trabajo experimental.

La concepción empiro-inductivista resulta muy evidente cuando la experimentación se realiza con el único propósito de contrastar alguna ley, falsar una hipótesis o verificar algún concepto, como sucede frecuentemente, o cuando los alumnos siguen rigurosamente cada uno de los pasos metodológicos de una guía previamente preparada, sin tener en cuenta las motivaciones y las cuestiones iniciales a las que se quería dar respuesta (Gil-Pérez y col., 2005).

También el papel de la tecnología en el desarrollo científico se ha dejado de lado en las prácticas habituales de laboratorio. Se presentan diseños experimentales en la forma de Guías de Trabajos Prácticos, consistentes en simples recetas ya preparadas y se excluye de esta forma cualquier reflexión acerca de las relaciones ciencia-tecnología, transmitiéndose el concepto distorsionado habitual de tecnología como “ciencia aplicada”.

4.4 El trabajo experimental en la educación en ciencias

Desde hace tiempo se ha buscado la manera de dar solución a la falta de interés del alumno por el estudio de las ciencias y superar una forma de enseñanza de la ciencia basada fundamentalmente en el uso del libro de texto. Muchas de las propuestas se han

diseñado a partir de la realización de diversos trabajos prácticos. De hecho, tanto los profesores de ciencias como los propios alumnos, consideran el paso hacia una enseñanza eminentemente experimental como una tarea aún pendiente, pero necesaria para lograr la familiarización de los estudiantes con la naturaleza de la actividad científica.

El trabajo experimental tiene en la actualidad una pobre presencia en la enseñanza de las ciencias y la orientación de las pocas prácticas de laboratorio que suelen realizarse contribuye a mantener esa visión distorsionada y empobrecida de la actividad científica. Por este motivo, es necesario rediseñar las prácticas de laboratorio de manera que se asemeje cada vez más a las formas de la investigación científica, dejando atrás la idea de un trabajo exclusivamente “experimental” e integrando muchos otros aspectos igualmente esenciales de la actividad científica.

De esta manera, se intentará desarticular esa idea que contribuye a la transmisión de una visión aporética del experimento científico, incorporando la discusión de su posible interés y relevancia, y oponiéndose a aquella visión descontextualizada. Se deberá insistir en la formulación tentativa de hipótesis, el proceso de diseño que necesariamente precede a la realización de los experimentos o el análisis crítico de los resultados obtenidos, enfrentando así aquella visión rígida, algorítmica y cerrada de la ciencia. De esta forma, se irá conformando un conjunto de aspectos absolutamente fundamentales para que la experimentación tenga sentido.

4.5 Las prácticas de laboratorio como investigación

Una práctica de laboratorio que trate de asemejarse a una investigación científica deberá dejar de ser un trabajo exclusivamente experimental e incorporar muchos otros aspectos igualmente esenciales de esta actividad. Éstos han sido agrupados por Furió y col. (2005) en el decálogo que se transcribe a continuación, aclarándose que no constituyen ningún algoritmo a seguir, sino una muestra de la enorme riqueza que posee la actividad científica y una forma de contraposición ante los habituales reduccionismos:

- 1. Presentar situaciones problemáticas abiertas de un nivel de dificultad adecuado, con objeto de que los estudiantes puedan tomar decisiones para precisarlas y entrenarse, así, en la transformación de situaciones problemáticas abiertas en problemas precisos.*
- 2. Favorecer la reflexión de los estudiantes sobre la relevancia y el posible interés de las situaciones propuestas, que dé sentido a su estudio (considerando las*

posibles implicaciones CTSA, etc.) y evite un estudio descontextualizado, socialmente neutro.

3. *Potenciar los análisis cualitativos, significativos, que ayuden a comprender y a acotar las situaciones planteadas (a la luz de los conocimientos disponibles, del interés del problema, etc.) y a formular preguntas operativas sobre lo que se busca. Se trata de salir al paso de operativismos ciegos sin negar, muy al contrario, el papel esencial de las matemáticas como instrumento de investigación, que interviene en todo el proceso, desde el enunciado mismo de problemas precisos (con la necesaria formulación de preguntas operativas) hasta el análisis de los resultados.*
4. *Plantear la emisión de hipótesis como actividad central de la investigación científica, susceptible de orientar el tratamiento de las situaciones y de hacer explícitas, funcionalmente, las preconcepciones de los estudiantes. Insistir en la necesidad de fundamentar dichas hipótesis y prestar atención, en ese sentido, a la actualización de los conocimientos que constituyan prerequisites para el estudio emprendido. Reclamar una cuidadosa operativización de las hipótesis, es decir, la derivación de consecuencias contrastables, prestando la debida atención al control de variables, a cómo es la dependencia esperada entre las variables, etc.*
5. *Conceder toda su importancia a la elaboración de diseños y a la planificación de la actividad experimental por los propios estudiantes, dando a la dimensión tecnológica el papel que le corresponde en este proceso. Potenciar, allí donde sea posible, la incorporación de la tecnología actual a los diseños experimentales (ordenadores, electrónica, automatización...), con objeto de favorecer una visión más correcta de la actividad científico-técnica contemporánea.*
6. *Plantear el análisis detenido de los resultados (su interpretación física, fiabilidad, etc.) a la luz del cuerpo de conocimientos disponible, de las hipótesis manejadas y de los resultados de “otros investigadores” (los de otros equipos de estudiantes y los aceptados por la comunidad científica, recogidos en los libros de texto).*

Favorecer, a la luz de los resultados, la “autorregulación” del trabajo de los alumnos, es decir, las necesarias revisiones de los diseños, de las hipótesis o, incluso, del planteamiento del problema. Prestar una particular atención, en su

caso, a los conflictos cognitivos entre los resultados y las concepciones iniciales, facilitando así, de una forma funcional, los cambios conceptuales.

7. *Plantear la consideración de posibles perspectivas (replanteamiento del estudio a otro nivel de complejidad, problemas derivados...) y contemplar, en particular, las implicaciones CTSA del estudio realizado (posibles aplicaciones, repercusiones negativas...).*
8. *Pedir un esfuerzo de integración que considere la contribución del estudio realizado a la construcción de un cuerpo coherente de conocimientos, así como las posibles implicaciones en otros campos del conocimiento.*
9. *Conceder una especial importancia a la elaboración de memorias científicas que reflejen el trabajo realizado y puedan servir de base para resaltar el papel de la comunicación y el debate en la actividad científica.*
10. *Potenciar la dimensión colectiva del trabajo científico organizando equipos de trabajo y facilitando la interacción entre cada equipo y la comunidad científica, representada en la clase por el resto de los equipos, el cuerpo de conocimientos ya construido (recogido en los textos), el profesor como experto, etc.*

Además, se intenta mostrar al alumno que los resultados obtenidos por un solo investigador o por un solo equipo de investigadores no son suficientes para verificar o falsar una hipótesis científica, dado que el cuerpo de conocimientos es el resultado del trabajo realizado por toda la comunidad científica, siendo la expresión del consenso alcanzado en un determinado momento del desarrollo de la ciencia.

De esta manera, la orientación propuesta para la realización de los trabajos prácticos cuestiona la idea de “prácticas de laboratorio” como actividad autónoma, dado que la investigación científica implica mucho más que el trabajo experimental, y éste no tiene sentido cuando se lo toma aisladamente.

4.6 Ejercicios y problemas. Los problemas de lápiz y papel

La resolución de ejercicios, denominados habitualmente como los problemas de lápiz y papel, cuando es realizada en el marco de la didáctica habitual de la resolución de problemas, suele impulsar al alumno hacia un operativismo abstracto, carente de sentido y que no contribuye al proceso de un aprendizaje significativo.

Los investigadores que han abordado el tema de la resolución de ejercicios y problemas no suelen indagar demasiado acerca del significado del término “problema”, constituyendo una de las limitaciones de sus investigaciones, pero existe un acuerdo general entre quienes sí han abordado la cuestión, en caracterizar como problemas aquellas situaciones que plantean dificultades para las que no se poseen soluciones ya resueltas de antemano. Según Krulik y Rudnik (1980) “Un problema es una situación, cuantitativa o no, que pide una solución para la cual los individuos implicados no conocen medios o caminos evidentes para obtenerla”. Polya (1980) señala que “resolver un problema consiste en encontrar un camino allí donde previamente no se conocía tal, encontrar una salida para una situación difícil, para vencer un obstáculo, para alcanzar un objetivo deseado que no puede ser inmediatamente alcanzado por medios adecuados”.

La inclusión de datos en los enunciados de los problemas, respondiendo a concepciones inductivistas, condiciona y dirige la resolución del problema, orientándolo hacia el manejo de determinadas variables. De esta forma, no se trabaja adecuadamente en el planteo de hipótesis y no se propone una reflexión cualitativa. Así, los alumnos se plantean la búsqueda de las ecuaciones que se correspondan con los datos e incógnitas proporcionados en el enunciado, desarrollando una simple tarea operativa.

Por este motivo, se ha discutido sobre la conveniencia de transformar los enunciados cerrados habituales en situaciones problemáticas abiertas, de manera de propiciar que el alumno resuelva los problemas de manera similar a las formas empleadas en el trabajo científico.

Es preciso reconocer que si el papel de las hipótesis apenas se toma en cuenta en las prácticas de laboratorio, menos aún se plantea en los problemas de lápiz y papel. Los problemas de lápiz y papel plantean situaciones que se abordan cuando el alumno dispone de un corpus de conocimientos suficientemente elaborado para permitir su resolución, resultando entonces lo que en los libros de texto se presenta como problemas “de aplicación”.

Entonces, ya no resulta tan correcto que se interprete el fracaso en la resolución de problemas como evidencia de la falta de conocimientos teóricos, olvidando que las estrategias de resolución no derivan automáticamente de los principios teóricos, sino que son también construcciones tentativas, que parten del planteo cualitativo realizado, de la formulación de hipótesis y de los conocimientos que se tienen en ese campo particular, pero que exigen imaginación y ensayos.

La exigencia de una planificación de las estrategias de resolución está orientada a evitar una actividad similar al simple “ensayo y error”, aunque no pretende imponer un

procedimiento rígido. Los alumnos, y los científicos, conciben generalmente las estrategias de resolución a medida que van avanzando, no estando exentos de tener que volver atrás a buscar otro camino. Es necesario que la resolución esté fundamentada y claramente explicada, previamente o a medida que se avanza, lo que exige cierta verbalización y se diferencia de los procedimientos puramente operativos, que no dan explicación, que se encuentran frecuentemente en los libros de texto.

El análisis de los resultados constituye también un aspecto fundamental en el abordaje de un verdadero problema. Este requiere, particularmente, su contrastación con relación a las hipótesis planteadas y al corpus de conocimientos empleado.

4.7 El aprendizaje significativo de conceptos y teorías

Las investigaciones realizadas sobre el aprendizaje de los conocimientos teóricos han abordado inicialmente el tema de los errores conceptuales y suscitado un reciente interés sobre las preconcepciones o esquemas conceptuales espontáneos, las denominadas también “ideas previas” presentes en el alumnado. Dichos esquemas tendrían la categoría de conocimientos precientíficos, resultado de una epistemología del sentido común, más cercana a la que explica la constitución de la física aristotélico-escolástica, que vigente durante más de veinte siglos fue desplazada con gran dificultad por la física clásica.

El problema de los preconceptos ya se había planteado con toda claridad cincuenta años atrás. Bachelard (1938) señalaba: “Me ha sorprendido siempre que los profesores de ciencias, en mayor medida, si cabe, que los otros, no comprendan que no se comprenda (...) No han reflexionado sobre el hecho de que el adolescente llega a la clase de física con conocimientos empíricos ya constituidos; se trata, pues, no de adquirir una cultura experimental, sino más bien de cambiar de cultura experimental, de derribar los obstáculos ya acumulados por la vida cotidiana”.

No sólo se desconoce entonces que el alumno no es una tabula rasa, sino que se subestima el cambio de ideas que supone la construcción de los conocimientos científicos. Se olvida, en definitiva, que “las ciencias físicas y químicas, en su desarrollo contemporáneo, pueden caracterizarse epistemológicamente como dominios del pensamiento que rompen netamente con los conocimientos vulgares” (Bachelard, 1938).

La necesidad de emplear nuevas estrategias de aprendizaje que permitan lograr el desplazamiento de las concepciones espontáneas de los alumnos por los conocimientos científicos ha dado lugar a propuestas que conciben el aprendizaje como una construcción de conocimientos, que se estructura a partir de un saber previo. Se habla entonces de un

modelo constructivista de aprendizaje de las ciencias (Novak, 1988) que integra las investigaciones sobre didáctica de las ciencias.

La propuesta de considerar el aprendizaje como un cambio conceptual (Posner et al., 1982), influenció particularmente en el replanteamiento de la enseñanza de las ciencias. Estando ésta fundamentada en el paralelismo existente entre el desarrollo conceptual de un individuo y la evolución histórica de los conocimientos científicos.

Los resultados experimentales indican que estas estrategias de enseñanza favorecen la adquisición de conocimientos científicos más eficazmente que las metodologías tradicionales de transmisión/recepción. Las estrategias de cambio conceptual proponen comenzar el estudio de un tema particular sacando a la luz las preconcepciones que los alumnos tienen sobre el mismo, para luego ponerlas en cuestión, exponiendo sus fallas por medio de contraejemplos, provocando así conflictos cognitivos que preparen al alumno para incorporar las ideas correctas.

Es necesario plantear más insistentemente en la idea de que el cambio conceptual implica un cambio metodológico, desarrollando estrategias de enseñanza que incorporen explícitamente actividades que asocien el cambio conceptual con la práctica de aspectos fundamentales de la metodología científica. Sin embargo, las estrategias de enseñanza mencionadas no han logrado incluir esta aproximación a lo que constituye la investigación científica a la actividad de los alumnos.

Por esta razón, dice Gil-Pérez (1999), “la estrategia de enseñanza que nos parece más coherente con la orientación constructivista es la que plantea el aprendizaje como tratamiento de situaciones problemáticas de interés...” “Todo aprendizaje aparece ahora como tratamiento de situaciones problemáticas y desaparece la habitual separación entre las actividades de introducción de conceptos, resolución de problemas y trabajos prácticos”. Y continúa diciendo: “El aprendizaje de las ciencias es concebido entonces, no como un simple cambio conceptual, sino como un cambio a la vez conceptual, metodológico y axiológico que convierte el aprendizaje en un proceso de investigación orientada que permite a los alumnos participar en la (re)construcción de los conocimientos científicos, lo que favorece un aprendizaje más eficiente y significativo”.

4.8 La teoría del aprendizaje significativo

El aprendizaje significativo, una teoría del aprendizaje de carácter organicista y constructivista, se caracteriza por la interacción de las ideas previas presentes en el sujeto que aprende, con la nueva información o el nuevo conocimiento al que se enfrenta. En

este proceso, el nuevo conocimiento se relaciona de manera no arbitraria y sustantiva con la estructura cognitiva del sujeto, adquiriendo sentido, enriqueciéndolo y diferenciándose de los conceptos previos, dando como resultado un conocimiento más elaborado y más estable en relación con los significados ya presentes (Moreira, 2000).

El conocimiento previo es el factor más influyente en el aprendizaje significativo. En definitiva, sólo podemos aprender a partir de aquello que ya sabemos, decía David Ausubel en 1963, quién consideraba al aprendizaje significativo como el mecanismo humano por excelencia para adquirir conocimiento.

Esta teoría se encuadra en el proceso del aprendizaje producido en un contexto educativo, enmarcada en una situación de interiorización o asimilación. Para que cierta reestructuración se produzca, se requerirá del establecimiento de una instrucción formal, que exponga de forma estructurada la información con el objeto de desequilibrar las estructuras existentes.

El aprendizaje significativo se centra particularmente en los procesos de enseñanza y aprendizaje de conceptos científicos. La distinción entre el aprendizaje y la enseñanza es precisamente el punto de partida de la teoría de Ausubel (Pozo, 1997).

El significado lógico del material de aprendizaje se transforma en significado psicológico para el sujeto durante el aprendizaje significativo. La esencia de este proceso se fundamenta en la relación no arbitraria y sustantiva de las ideas simbólicamente expresadas con algún aspecto relevante de la estructura de conocimiento del sujeto, es decir, con algún concepto o proposición que ya tiene sentido y permite ser relacionado con la nueva información.

De esta interacción surgen los significados de los materiales potencialmente significativos, es decir, suficientemente no arbitrarios y relacionables de manera no-arbitraria y sustantiva a la estructura cognitiva. En esta interacción el conocimiento previo se modifica por la adquisición de nuevos significados.

La no-arbitrariedad y la sustantividad son las características fundamentales del aprendizaje significativo. No-arbitrariedad significa que el material potencialmente significativo se relaciona de manera no-arbitraria con las ideas previas del sujeto, es decir, no con cualquier aspecto de la estructura cognitiva sino con conocimientos específicamente relevantes a los que se denominan subsumidores. Las nuevas ideas, conceptos o proposiciones, podrán asimilarse, retenerse, aprenderse en la medida en que puedan anclarse en otras ideas relevantes e inclusivas, disponibles y adecuadamente claras, presentes en la estructura cognitiva del sujeto.

El concepto de sustantividad refiere a la incorporación de la sustancia a la estructura cognitiva, la incorporación de lo no-litera del nuevo conocimiento, de las nuevas ideas, no de las palabras precisas usadas para expresarlas.

4.9 El modelo de aprendizaje como investigación

En el modelo de aprendizaje concebido como investigación orientada se plantea el aprendizaje de cada tema como un trabajo de investigación y de innovación, a través del tratamiento de situaciones problemáticas relevantes para la construcción de conocimientos científicos y el logro de innovaciones tecnológicas susceptibles de satisfacer determinadas necesidades.

Esto deberá contemplarse como una actividad abierta y creativa, correctamente orientada por el profesor, basada en el trabajo de científicos y tecnólogos y, muy en particular, en las grandes preguntas que han orientado dicho trabajo, que debería incluir toda una serie de aspectos como los que se citan a continuación (Carrascosa, 2005):

- *La discusión del posible interés y relevancia de las situaciones propuestas que dé sentido a su estudio y evite que los alumnos se vean sumergidos en el tratamiento de una situación sin haber podido siquiera formarse una primera idea motivadora o contemplado la necesaria toma de decisiones, por parte de la comunidad científica, acerca de la conveniencia o no de dicho trabajo (teniendo en cuenta su posible contribución a la comprensión y transformación del mundo, sus repercusiones sociales y medioambientales, etc.).*
- *El estudio cualitativo, significativo, de las situaciones problemáticas abordadas, que ayude a comprender y acotar dichas situaciones a la luz de los conocimientos disponibles, de los objetivos perseguidos... y a formular preguntas operativas sobre lo que se busca (ocasión para que los estudiantes comiencen a explicitar funcionalmente sus concepciones).*
- *La invención de conceptos y emisión de hipótesis fundamentadas, susceptibles de focalizar y orientar el tratamiento de las situaciones, al tiempo que permiten a los estudiantes utilizar sus “concepciones alternativas” para hacer predicciones susceptibles de ser sometidas a prueba.*
- *La elaboración y puesta en práctica de estrategias de resolución, incluyendo, en su caso, el diseño y realización de montajes experimentales para someter a prueba las hipótesis a la luz del cuerpo de conocimientos de que se dispone, lo que exige un trabajo de*

naturaleza tecnológica para la resolución de los problemas prácticos que suelen plantearse (como, p.e., la disminución de las incertidumbres en las mediciones). Llamamos particularmente la atención sobre el interés de estos diseños y realización de experimentos que exigen (y ayudan a desarrollar) una multiplicidad de habilidades y conocimientos. Se rompe así con los aprendizajes mal llamados “teóricos” (en realidad, simplemente librescos) y se contribuye a mostrar la estrecha vinculación ciencia-tecnología.

- *El análisis y comunicación de los resultados, cotejándolos con los obtenidos por otros grupos de estudiantes y por la comunidad científica. Ello puede convertirse en ocasión de conflicto cognoscitivo entre distintas concepciones (tomadas todas ellas como hipótesis) y favorecer la “autorregulación” de los estudiantes, obligando a concebir nuevas conjeturas, o nuevas soluciones técnicas, y a replantear la investigación. Es preciso detenerse aquí en la importancia de la comunicación como sustrato de la dimensión colectiva del trabajo científico y tecnológico. Ello supone que los estudiantes se familiaricen con la lectura y confección de memorias científicas y trabajos de divulgación.*
- *La consideración de las posibles perspectivas: conexión de los conocimientos construidos con otros ya conocidos, elaboración y perfeccionamiento de los productos tecnológicos que se buscaban o que son concebidos como resultado de las investigaciones realizadas, planteamiento de nuevos problemas... Todo ello se convierte en ocasión de manejo reiterado de los nuevos conocimientos en una variedad de situaciones, contribuyendo a su profundización y resaltando en particular las relaciones ciencia, tecnología sociedad y ambiente que enmarcan el desarrollo científico, con atención a las repercusiones de toda índole de los conocimientos científicos y tecnológicos, propiciando, a este respecto, la toma de decisiones.*

Es conveniente remarcar que las orientaciones precedentes no constituyen un algoritmo que pretenda guiar cada paso de la actividad de los alumnos. Por el contrario, se trata de un conjunto de indicaciones genéricas que exponen algunos aspectos esenciales de la construcción de conocimientos científicos, que generalmente no son suficientemente observados en la educación científica.

Pero llegar a concretar las secuencias de actividades como propuestas de investigación guiada que se van a proponer a los estudiantes en el aula, según Gil Pérez (1991), “requiere que el equipo de profesores/investigadores que diseña el curso disponga de un conocimiento profundo de la materia a tratar: cuáles fueron los problemas que están en el

origen de los conocimientos abordados, cómo se ha llegado hasta el conocimiento actual, cuáles fueron las dificultades que hubo que superar, las ideas que permitieron avanzar, el contexto social y los desarrollos tecnológicos y las repercusiones sociales que tuvieron y tienen los estudios en dicho campo, etc.”

“En general, adquirir dicha formación exige un estudio histórico y epistemológico del campo que se va a tratar. Pero no basta: la elaboración de la estructura problematizada debe ser abordada, y esto es fundamental, con “intencionalidad didáctica” guiada por una “experiencia práctica docente reflexionada y los hallazgos de la investigación educativa”, para que su desarrollo sea útil y factible para los estudiantes implicados. Aun así, las secuencias de actividades elaboradas para despertar el interés y favorecer el aprendizaje significativo de los estudiantes (de las que se presentan ejemplos en los capítulos siguientes) deben ser consideradas como hipótesis de trabajo que han de ser sometidas a su puesta en práctica reiterada en las aulas, lo que indudablemente conducirá a revisiones e, incluso, a profundas reestructuraciones. La elaboración de los temas y cursos como problemas, desde las preguntas estructurantes hasta la secuencia de actividades, es una de las tareas más retadoras, y por tanto más apasionantes, con las que un equipo de profesores puede enfrentarse. Aunque, como ya hemos señalado, el proceso de elaboración no puede caracterizarse por el seguimiento de unas etapas rígidas, resulta conveniente formularse una serie de preguntas generales que lo orienten” (Gil Pérez, 1991).

4.10 Las tecnologías digitales en la enseñanza de las ciencias

El procesamiento y transmisión de la información se han convertido en una parte fundamental de la vida cotidiana en la sociedad moderna, a tal punto que surge la necesidad de comprender y dominar una gran variedad de herramientas tecnológicas que nos permitan manejar la creciente cantidad de información y la transmisión de datos y mensajes.

El conjunto de procesos y productos derivados de las nuevas herramientas, soportes de la información y canales de comunicación relacionados con el almacenamiento, procesamiento y transmisión digitalizada de datos, es lo que se conoce como las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC). (González Soto y col., 1996).

La utilización de las TIC en el ámbito educativo ha derivado en los últimos años en el desarrollo de tecnologías formativas específicas como las Tecnologías del Aprendizaje y del Conocimiento (TAC). Posteriores desarrollos de las tecnologías digitales (TD) han dado lugar a nuevas tecnologías que promueven la participación del individuo en el desarrollo

económico, cultural, político y social a través de las Tecnologías para el Empoderamiento y la Participación (TEP).

Históricamente, el procesamiento y la comunicación de la información han ocupado un lugar preponderante en las actividades educativas. Esto se daba principalmente entre el docente y el alumno, quienes contaban apenas con un pizarrón, un lápiz y papel como herramientas. Actualmente, las computadoras, con sus dispositivos periféricos, sensores y su creciente conectividad, permiten a los docentes adentrarse en un modelo educativo mucho más sofisticado y flexible.

Las TD son herramientas que están íntimamente ligadas a la naturaleza del aprendizaje, dado que todo proceso de aprendizaje comienza con la búsqueda y el manejo de información.

Ciertos conceptos fundamentales de las matemáticas y las ciencias requieren, para su mejor comprensión, del empleo de modelos visuales que las TD están en condiciones de reproducir. Actualmente, los estudiantes tienen la posibilidad de manipular libremente los objetos que representan estos conceptos en una computadora, experimentando de diferentes maneras la relación dinámica entre sus acciones y el comportamiento visible del modelo (Semenov, 2005).

Pero los cambios culturales no se producen al mismo ritmo acelerado en el que ocurren las innovaciones tecnológicas. De igual forma sucede con la formación docente y las prácticas pedagógicas. Lo importante es emprender el camino de la exploración y la experimentación para incorporar las nuevas tecnologías, teniendo en claro que estas no son un fin en sí mismas, sino los medios y modos de adquirir formas más elaboradas y refinadas de comprensión (Batista y col., 2007).

Los docentes recuerdan muchas de las herramientas tradicionales utilizadas por sus maestros durante sus propios procesos de aprendizaje. Sin embargo, nunca se preguntaron acerca de la forma en que se usaban, por ejemplo el pizarrón, o sobre su valor, porque pasaban inadvertidas, estando incluidas en las mismas propuestas de enseñanza (Litwin, 2005).

Resulta claro, entonces, que las prácticas con tecnologías no son nuevas en la tarea docente ni son exclusivas de un determinado nivel educativo. Los docentes del nivel superior, dependiendo del campo profesional o académico en el que se desempeñen, incluyen los usos de las tecnologías de muy diferente manera y con frecuencia son ellos mismos quienes impulsan este tipo de usos y desarrollos, enmarcados en políticas académicas y proyectos de investigación, los que son financiados a través de subsidios otorgados por las universidades o por el estado.

Pero el hecho de que los profesores de ciencias sean usuarios de estas tecnologías no significa que el empleo de las TD haya penetrado profundamente en la enseñanza. Cuando las tecnologías han influido en el ejercicio del campo profesional, las enseñanzas que incluyen dicho ejercicio son las que introducen dichas tecnologías.

Es el caso de la biología, el diseño arquitectónico, la ingeniería, la medicina, las ciencias sociales. Es difícil hallar alguna área profesional que hoy no se vea influida por las tecnologías. Tecnología necesaria, que se introduce en la enseñanza como parte del trabajo profesional. Los métodos de diagnóstico con tecnologías, el diseño con Autocad, los cálculos con herramientas informáticas son ejemplos recurrentes de las prácticas.

Las prácticas con tecnologías pueden permitir el acceso a nuevas maneras de producir el conocimiento mediante trabajos en colaboración que antes eran impensados debido a los costos de la comunicación. A su vez, penetran en las comunidades como modos posibles de producción. En todos los casos dependen de la calidad pedagógica de la propuesta, de la calidad científica de los materiales y su información, y de la ética profesional que impone una modalidad en la que las autorías se comparten en desmedro de las individualidades y potencian la producción de los grupos.

En todos los casos, las prácticas de la enseñanza no pueden ser analizadas, reconocidas o reconstruidas a partir principalmente del buen uso que se haga o no de las tecnologías. Estas se hallan implicadas en las propuestas didácticas y, por tanto, en las maneras en que se promueve la reflexión en el aula se abre un espacio comunicacional que permite la construcción del conocimiento y se genera un ámbito de respeto y ayuda frente a los difíciles y complejos problemas de enseñar y aprender (Litwin, 2005).

4.11 El uso de simuladores en la práctica experimental

El término realidad virtual hace referencia a sucesos que toman lugar en el tiempo y en el espacio, que son percibidos por los sentidos por medio de interfaces visuales, auditivas y táctiles.

Una de las experiencias más accesibles para comprender la idea de la realidad virtual es correr una carrera de automóviles o volar aviones en un juego de computadora. El uso de la realidad simulada con propósitos educativos se inicia en la década del sesenta, cuando comienzan a desarrollarse los primeros simuladores de vuelo para entrenar pilotos y controladores aéreos (Semenov, 2005).

Los simuladores educativos computacionales son programas que reproducen con fines pedagógicos y de forma controlada, un determinado fenómeno, sistema o proceso por medio de la visualización de los diferentes estados que el mismo puede presentar. Cada uno de estos estados será descrito por un conjunto de variables que se modifican con el tiempo debido a la iteración de un cierto algoritmo.

Las simulaciones permiten ampliar la experiencia mediante la repetición de ensayos, eliminando los riesgos y disminuyendo los costos. Permiten realizar un estudio sistemático de alternativas, introduciendo variaciones en las variables intervinientes difícilmente manejables en un sistema real, permitiendo la identificación de posibles áreas problemáticas.

Independientemente de su complejidad, cualquier sistema puede ser modelado y a partir de ese modelo es posible simular y ensayar variadas alternativas. Los simuladores educativos constituyen una herramienta de gran utilidad para la formación de conceptos y la construcción de conocimientos. Permiten el ensayo en diversos contextos, incluso en aquellas situaciones que impiden el acceso del estudiante a la práctica o dificultan su aprendizaje. Son de gran utilidad en aquellas situaciones en las que existen limitaciones reales para la práctica experimental, tales como la disponibilidad de tiempo y horarios, los elevados costos de instrumentación y gastos de operación, la falta de recursos y personal, y cualquier otro tipo de restricciones existentes en los laboratorios o servicios hospitalarios donde se realizan las prácticas.

Las simulaciones computacionales permiten la creación de representaciones figurativas dinámicas que posibilitan la manipulación de objetos asociados a conceptos con alto grado de abstracción. Generan un espacio adecuado para elaborar hipótesis y probar ideas, aislar y variar parámetros, comprender las relaciones entre conceptos y variables, comprender los conceptos subyacentes, explicitar modelos mentales e investigar fenómenos complejos y de difícil implementación en la clase o el laboratorio (Bouciguez, 2010).

Por todo esto, la simulación de la adquisición y procesamiento de imágenes tomográficas, realizadas en diversas condiciones experimentales, resulta de gran interés por su variabilidad y potencial repetitividad fuera del ámbito asistencial. De esta forma, el uso de simulaciones podrá realizarse tanto en el laboratorio de imágenes como fuera del mismo, mediante el uso de aplicaciones que el alumno podrá ejecutar inclusive en otros ámbitos con su computadora personal.

Resultan de gran interés este tipo de aplicaciones, debido a que ofrecen la posibilidad de que el alumno desarrolle una multiplicidad de habilidades, destrezas y conocimientos

mediante el uso de herramientas propias de las TD. Rompiendo así con las formas tradicionales del aprendizaje basado casi exclusivamente en el libro de texto, mal llamado “teórico”, y contribuyendo a una mayor comprensión sobre la estrecha vinculación existente entre ciencia y tecnología.

4.12 Un enfoque semiótico sobre las tecnologías educativas

Los entornos educativos formales mediados por tecnología en el aula requieren de un análisis minucioso para comprender la dinámica y las interacciones producidas en el proceso de enseñanza y aprendizaje. Esto es debido al complejo espacio de interacciones que generan. Dichos procesos pueden ser analizados teniendo en cuenta los aspectos gnoseológicos, comunicacionales, didácticos, psicológicos y tecnológicos, incluyendo aquellos de orden semiótico mediados por la tecnología.

Miranda (2010), ha estudiado a partir de considerar un enfoque cognitivo, social y semiótico, aquellos procesos interactivos que ocurren durante la construcción de conocimiento utilizando simulaciones computacionales en ambientes colaborativos.

Cuando los alumnos realizan en el aula un trabajo colaborativo empleando herramientas computacionales, puede observarse un nuevo tipo de interacción. Estas interacciones digitales, se producen en un contexto interactivo en el que convergen la interfaz de la herramienta y los demás elementos que constituyen la práctica. Para Scolari (2004, citado por Miranda, 2017) “el estudio de las interfaces y de los procesos que se generan al interactuar con ellas parte de un enfoque que combina la ciencia cognitiva y la semiótica interpretativa que considera a la interfaz un texto con el que los sujetos interactúan.”

Para Scolari (2003, citado por Miranda, 2010) esta interactividad no puede pensarse como una acción natural y automática ejercida sobre un dispositivo diseñado por un programador. Y continúa diciendo: “El autor sostiene que antes, durante y después de la acción es posible identificar procesos perceptivos de reconocimiento, intercambios comunicativos a nivel textual entre emisor y receptor que remiten a experiencias precedentes de interacción, hipótesis que puedan plantearse en relación con los resultados posibles de la interacción, negociaciones y contrataciones entre el diseñador de la herramienta y el usuario. Es decir, advierte que tanto en las etapas de diseño como durante la interacción con las simulaciones se ponen en juego procesos y competencias semióticas que pueden condicionar o vehicular los procesos de enseñanza y aprendizaje” (Miranda, 2010).

Así, las simulaciones surgen a partir de un diseño fundado en competencias semióticas. El diseñador de la simulación debe prever las acciones de los usuarios, mantener su atención y saber transmitirles la información necesaria que asegure la interacción. Por otra parte, los alumnos deben necesariamente emplear competencias perceptivas e interpretativas durante la interacción. El grado de diferencias o similitudes entre estos mundos semióticos-comunicacionales que se reflejan en la interfaz de la herramienta permiten concebir su entorno interactivo como más o menos amigable para el usuario (Bouciguez, 2010).

Entonces, la lógica del diseñador como así también la lógica del usuario, son lógicas sociales que en algún momento de la interacción se recombinan y reinterpretan, evidenciando la dimensión social que conlleva el diseño de las interfaces (Scolari, 2004; citado por Miranda, 2010). Desde esta perspectiva, cuando un estudiante aprende a través de una actividad mediada por una aplicación computacional, no solo lo hace sobre la disciplina que estudia, sino que además desarrolla habilidades cognitivas interactuando con la computadora. La Interacción en general con artefactos culturales o con otros individuos, pone en juego un conjunto de cogniciones distribuidas, desarrollando al mismo tiempo las propias competencias individuales (Salomon, 2001; citado por Bouciguez, 2010). De esta manera, pueden pensarse los entornos de simulación como artefactos culturales que posibilitan intercambios entre la cognición y los objetos simbólicos que representan el conocimiento científico.

Existe, por otro lado, un fuerte vínculo funcional entre los modos en que puede ser abordado un determinado componente disciplinar y los componentes tecnológicos presentes en el entorno de la simulación. Esto se debe a la posibilidad de crear visualmente e interactuar con una entidad o propiedad conceptual a través de los componentes tecnológicos para conocer su funcionalidad (Bouciguez, 2010).

5. Material y métodos

El diseño, desarrollo y empleo del simulador se plantean en tres situaciones de enseñanza diferenciadas.

La primera de ellas, considera la utilización del simulador, es decir, la aplicación ya desarrollada y el análisis de su estructura y funcionamiento como una estrategia para la enseñanza de los conceptos teóricos y entrenamiento durante las prácticas de laboratorio realizadas en el marco de la cursada de las carreras Tecnicatura Universitaria en Diagnóstico por Imágenes, Licenciatura en Diagnóstico por Imágenes y otras carreras con contenidos afines dictadas en la Escuela de Ciencia y Tecnología de la UNSAM.

La segunda de ellas, desarrollada en el marco de una propuesta educativa basada en el modelo de investigación orientada, es aplicable a aquellos casos en que los alumnos desarrollen sus proyectos de tesis de licenciatura.

De igual forma, la tercera de las situaciones prevé la propuesta educativa basada en el modelo de investigación orientada para el desarrollo de mejoras e innovaciones en la aplicación, la que podrá ser implementada en el marco de nuevos proyectos de tesis de grado, en las carreras del área de física médica y diagnóstico por imágenes de la Escuela de Ciencia y Tecnología de la UNSAM.

5.1 El diseño como parte del modelo de aprendizaje como investigación orientada

Se plantea el diseño del simulador en el marco de un modelo de aprendizaje como investigación orientada, en la cual la investigación se desarrolla como una actividad abierta y creativa. La misma estará debidamente orientada por el profesor/director de tesis quién actúa como un investigador experto, de manera que se incluyan todos los aspectos característicos del trabajo experimental y de la resolución de problemas.

El diseño, elaboración y puesta en práctica de la aplicación del simulador requerirá del manejo de variables, estrategias de resolución y visualización de resultados parciales y finales, de manera de sacar a la luz el cuerpo de conocimientos necesario, exigiendo un trabajo de naturaleza tecnológica para la resolución de los problemas prácticos que suelen plantearse.

5.2 Diseño de un simulador para la enseñanza de la reconstrucción tomográfica

El diseño del simulador deberá comenzar con el análisis y la discusión junto al alumno, del posible interés, la pertinencia y relevancia del proyecto propuesto, el que deberá dar respuesta a la resolución de las situaciones problemáticas que se pretenden resolver.

¿Qué tipo de simulación realizar?

¿Por qué diseñar un simulador para enseñar la reconstrucción tomográfica? ¿Por qué simular también la adquisición de datos?

¿Cuál sería la utilidad de un simulador de este tipo?

¿Cuáles serían las situaciones problemáticas a resolver?

La observación y análisis de las prácticas clínicas y las cuestiones operativas relacionadas con la adquisición y procesamiento de los estudios tomográficos, orientará la discusión sobre el diseño de la aplicación que deberá dar respuesta a algunas de las situaciones problemáticas que se describen a continuación.

Durante la realización de los estudios clínicos en tomografía, los diferentes pasos que constituyen el proceso de adquisición y procesamiento de imágenes y/o datos son totalmente “transparentes” al operador, es decir, no son visualizados ni presentados de forma alguna en la pantalla de la computadora. Esto hace que los mismos sean generalmente inadvertidos por el operador del instrumento de imágenes. En muchas situaciones, un operador puede realizar dichos procedimientos de forma rutinaria y automatizada, desconociendo en detalle cada uno de los pasos y sin conocer los fundamentos del proceso en curso.

Durante la realización de los estudios clínicos en los equipos comerciales de TAC (Tomografía Axial Computada), por ejemplo, la adquisición de datos no es visualizada por el operador. Ni las proyecciones, ni los sinogramas son mostrados en la pantalla de un equipo de TAC, por lo cual, el operador solo tiene acceso a datos parciales al finalizar la reconstrucción del estudio.

En los estudios de SPECT, las proyecciones son visualizadas en pantalla a medida que se van adquiriendo. Los sinogramas son presentados en la pantalla de la computadora solo al momento de procesar el estudio, situación que puede estar separada físicamente y temporalmente del proceso de adquisición y que puede incluso, ser realizada por otro profesional. Tampoco la totalidad de los pasos, ni las operaciones relacionadas con ellos son visualizadas durante la reconstrucción tomográfica del estudio. En la mayoría de los sistemas, el operador puede seleccionar el filtro de reconstrucción, ajustar la forma de su

función y realizar la reconstrucción de un corte de prueba antes de proceder con la reconstrucción completa del estudio. Luego, sí, tendrá la posibilidad de seleccionar los cortes de interés para su organización y la documentación del estudio.

En las prácticas realizadas en el laboratorio de imágenes, o durante las prácticas de la materia Procesamiento Digital de Imágenes, las funciones *radon* e *iradon* de MATLAB, utilizadas respectivamente para proyectar los datos y reconstruirlos, tampoco muestran los pasos intermedios y sus datos parciales en pantalla. Solamente se muestran los resultados finales al aplicar cada función.

Claramente, el tipo de prácticas mencionadas limita la experiencia y la comprensión completa del proceso de adquisición y reconstrucción tomográfica y hace necesaria la utilización de nuevas estrategias y herramientas para su enseñanza.

Se discutirá sobre la conveniencia de diseñar una simulación por computadora para la reconstrucción tomográfica. De igual forma se discutirá acerca del lenguaje de programación a emplear y las herramientas a utilizar para su diseño.

Se analizará la conveniencia de la utilización de MATLAB, en su versión R2010a, dado que reúne características técnicas adecuadas, se encuentra disponible en la escuela y el alumno está familiarizado con su uso debido a su frecuente utilización a lo largo de la carrera.

MATLAB (MATrix LABoratory) es un lenguaje de programación de alto nivel que proporciona un entorno interactivo para la computación numérica, visualización y programación, permitiendo analizar datos, desarrollar algoritmos y crear modelos y aplicaciones. Fue creado por el matemático y programador Cleve Moler en 1984 y desarrollado por la empresa MathWorks®.

Se analizará además la utilización de una Interface Gráfica de Usuarios (GUI, del inglés: Graphical User Interface) desarrollada en MATLAB, para la elaboración del diseño de la aplicación, de manera que su uso resulte totalmente amigable e intuitivo.

Las aplicaciones GUI permiten ejecutar rutinas, funciones o programas de manera sencilla por medio del uso del mouse y una serie de botones o controles deslizantes ubicados sobre un panel que muestra datos, gráficos y/o figuras. Esto facilita el acceso de los alumnos no experimentados en el uso de un determinado lenguaje de programación a fin de poder ejecutar una determinada aplicación. De esta forma, su utilización y la visualización de cada etapa y cada uno de los pasos establecidos, la convertirán en una aplicación completamente accesible y comprensible.

La creación de una aplicación GUI puede realizarse tanto de forma interactiva como de forma programática. GUIDE (entorno de desarrollo de GUI) proporciona las herramientas para diseñar, mediante un editor de diseño, las interfaces de usuario personalizadas. Luego GUIDE genera de manera automática el código de MATLAB para construir dicha interface.

De forma programática, se puede escribir el código de MATLAB definiendo las propiedades y los comportamientos de todos los componentes de las aplicaciones. De esta manera pueden redefinirse y agregarse cuadros de diálogo y controles GUI, como botones y controles deslizantes junto a contenedores, como paneles y grupos de botones.

Se analizará la conveniencia de utilizar la forma programática para crear la aplicación del simulador.

Cada una de las etapas de diseño del simulador serán descritas más adelante en los apartados *El problema de interés como estructurante en el diseño* y *Análisis del diseño como estrategia de aprendizaje*.

5.3 La implementación de mejoras más allá del diseño original

De la misma forma que en el caso anterior, el modelo de aprendizaje como investigación orientada, podrá ser propuesto para el desarrollo de proyectos de investigación que contemplen la implementación de mejoras más allá del diseño original del simulador, de manera de aportar innovaciones procedimentales y/o tecnológicas ante los nuevos desarrollos tecnológicos o los nuevos requerimientos por parte de los usuarios.

Nuevamente resulta de interés involucrar al alumno en la discusión sobre la pertinencia y relevancia de las innovaciones propuestas.

¿Qué mejoras se podrían implementar?

¿Se podría haber diseñado el simulador de otra forma?

¿Podríamos agregar una opción para el filtrado en el dominio espacial por convolución con el kernel de un filtro? ¿Cómo sería ese kernel? ¿Cómo se calcula?

¿Se podría agregar una opción para la deconvolución con la función $1/r$ luego de una reconstrucción por retroproyección simple?

¿Se podría implementar un módulo para la reconstrucción por métodos iterativos como MLEM y OSEM?

5.4 El problema de interés como estructurante en el diseño

En el apartado que trataba sobre el *Diseño de un simulador para la enseñanza de la reconstrucción tomográfica*, hemos enunciado algunas de las situaciones problemáticas presentes al momento de realizar las prácticas clínicas o las prácticas de laboratorio. En relación a los problemas específicos del procedimiento de adquisición y reconstrucción de estudios tomográficos, podemos plantear algunas de las siguientes cuestiones:

¿Qué tipo de datos simular? ¿Qué modelo utilizar para obtener las proyecciones? ¿Utilizaremos Imágenes de estudios clínicos, de fantomas o de imágenes conocidas?

¿Cómo se adquieren las proyecciones en SPECT? ¿Cuáles son las variables a tener en cuenta?

¿Qué método de reconstrucción vamos a utilizar? ¿Qué variables intervienen?

¿Qué datos se deben visualizar? ¿Qué interrupciones debemos realizar? ¿Qué resultados o información en pantalla se deben presentar?

En relación a las situaciones problemáticas planteadas, el diseño del simulador se estructurará alrededor de las tres funciones principales en las que podemos organizar la adquisición y reconstrucción de datos tomográficos:

- a. La adquisición de datos
- b. La definición del filtro de reconstrucción y el filtrado de las imágenes
- c. La retroproyección filtrada de datos

a. La adquisición de datos

¿Es conveniente simular estudios clínicos? ¿O es preferible analizar los resultados obtenidos a partir de modelos matemáticos o imágenes bien conocidas y habituales?

Los datos son adquiridos en SPECT a partir de un objeto cuya distribución de actividad es una incógnita que se quiere conocer.

¿Qué tipo de modelo de datos utilizar? Es sabido que el alumno tiene conocimientos limitados y poca experiencia para interpretar la imagen de un estudio clínico. Las imágenes de medicina nuclear, son imágenes que presentan pocos detalles estructurales debido a la limitada resolución espacial de los instrumentos de imágenes y cuentan con una importante presencia de ruido. Por tal motivo, se propone el uso de modelos simples o imágenes comunes, conocidas y con detalles bien definidos, que puedan servir de

modelo a partir de las cuales obtener los datos tomográficos e interpretar los resultados obtenidos luego de su reconstrucción.

Se propuso entonces, trabajar sobre la adquisición de proyecciones de datos a partir de la selección de dos tipos de modelos que representen la distribución de actividad incógnita.

De esta manera, se podrá seleccionar desde el panel de control del simulador, la opción correspondiente al modelo de un fantoma matemático o la correspondiente al de una moneda de un peso.

El fantoma matemático representa la sección transversal de un cilindro de concentración de actividad uniforme, que contiene en su interior dos fuentes pequeñas de mayor concentración de actividad. El modelo de la moneda fue generado a partir de una fotografía de una moneda de un peso, con valores de intensidad en escala de grises, ver la figura 1.

Si bien, se comprende que las proyecciones de estos modelos no serán obtenidas por transmisión o emisión de su estructura o distribución de actividad, sus patrones en intensidad de grises permitirán simular el registro de la proyección de datos, de manera de poder evaluar comparativamente los resultados obtenidos en el proceso de reconstrucción tomográfica, sin influencia de los factores perturbadores en la adquisición de estos datos, como ser, la atenuación de la radiación, la dispersión de la misma y el efecto del volumen parcial, entre otros.

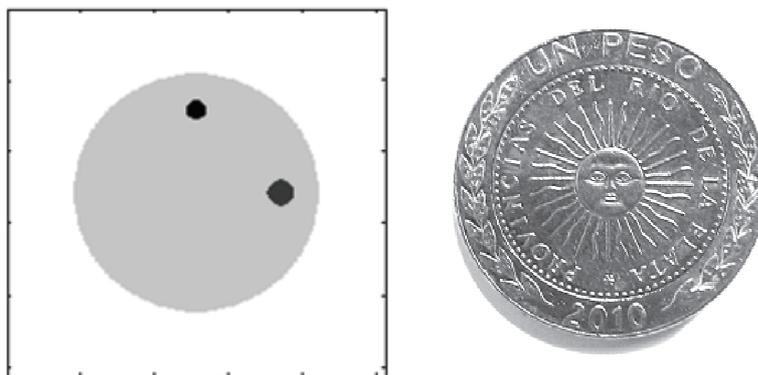


Figura 1. Fantoma matemático que representa la sección transversal de un cilindro de concentración de actividad uniforme, conteniendo en su interior dos fuentes pequeñas de mayor concentración de actividad (izquierda). A la derecha, modelo de la moneda generado a partir de una fotografía de una moneda de un peso, con valores de intensidad en escala de grises.

Ambos modelos permitirán realizar un mejor análisis de los resultados obtenidos, debido a la mejor comprensión e interpretación que se tendrá de ellos respecto a las imágenes de los estudios clínicos.

¿Cómo se adquieren los datos en SPECT? ¿Cuáles son las variables a tener en cuenta?

El tamaño de la matriz de adquisición, el número de pasos a adquirir, el arco de rotación a realizar y el sentido de giro de rotación son algunas de las variables a considerar para obtener el conjunto de las proyecciones. La presencia o no de ruido en el sinograma, será otra de las variables a considerar al momento de generar los datos a reconstruir.

Se deberán definir en el panel de control, formas adecuadas para seleccionar las opciones que permitan definir estos parámetros. En la figura 2, se muestra en una ventana el panel de control del simulador. La figura está dividida en dos paneles, el panel superior está dedicado a la visualización de gráficos y el panel inferior, contiene un conjunto de objetos que permitirán la selección de las variables. Entre los objetos utilizados podemos mencionar una serie de menús desplegables, botones pulsadores, botones de opciones, cuadros de texto, controles deslizantes y casillas de verificación.

Así, se propone la elección del modelo del fantoma utilizando un menú desplegable accesible desde el panel de control que muestra las opciones para un fantoma matemático o para una moneda de un peso. La medida de la matriz de adquisición, también puede ser definida por medio de la selección de valores desde la lista de un menú desplegable. Dichos valores se definen para matrices de 64x64, 128x128 y 256x256 píxeles. Igualmente, el número de pasos o número de proyecciones se definen para valores de 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 y 256 pasos. La rotación puede ser seleccionada para arcos de 180° o 360° por medio de botones de opciones. Por otra parte, mediante la selección de casillas de verificación se podrán elegir las opciones de Agregar Ruido Poisson, Activar Pausa, Activar Comentarios y Giro en sentido horario.

Los filtros de reconstrucción se seleccionan también desde la lista de un menú desplegable. Sus opciones son los filtros Butterworth, Sheep Logan, Hann, Hamming, Parzen, Ramp y una función plana para la retroproyección simple. La frecuencia de corte se selecciona por medio de un control deslizante, cuyo rango de frecuencias se define entre los límites de 0 y 1 de Nyq, con incrementos de 0.1 Nyq. Igualmente puede seleccionarse el orden del filtro Butterworth por medio de un control deslizante, cuyos valores límites se definen entre 1 y 50, con incrementos de 1.

¿Qué datos se deben visualizar durante la etapa de adquisición?

El proceso de adquisición de datos no es generalmente visualizado en los sistemas comerciales de TAC (Tomografía Axial Computada). Ni las proyecciones, ni los sinogramas son mostrados en la pantalla de estos sistemas de imágenes, por lo cual, el operador solo tiene acceso a datos parciales al finalizar la reconstrucción del estudio. En los estudios de SPECT, las proyecciones son visualizadas en pantalla a medida que se van adquiriendo y los sinogramas solo son presentados al instante de realizar la reconstrucción tomográfica.

Dado que al momento de cursar medicina nuclear, los alumnos solo han adquirido experiencia en prácticas hospitalarias de TAC, es necesario entonces trabajar a partir de las ideas previas que ellos tienen sobre esta etapa del proceso de adquisición tomográfica.

Para esto se propone la visualización detallada de cada una de las etapas del proceso. La obtención de cada perfil de proyección para cada ángulo de rotación, la visualización de la rotación del modelo elegido y las relaciones entre ambos sistemas de referencia serán visualizados en un panel del simulador. Simultáneamente, se presentará el sinograma en pleno proceso de construcción, el cual se irá actualizando a medida que se vayan adquiriendo las nuevas proyecciones a diferentes ángulos. Se visualizará además sobre el panel de gráficos, tal como se muestra en la figura 3, la construcción de un sinograma en perspectiva 3D, de manera que el alumno pueda relacionar las formas de las funciones de cada perfil, con su representación equivalente en la escala de grises.

Cada ventana del simulador contará con el menú característico de las figuras de MATLAB, de manera de poder realizar ampliaciones y reducciones, rotaciones, lectura de los valores de píxeles de las imágenes o puntos de las curvas, etc.



Figura 2. Ventana del panel de control del simulador donde se observa un panel de visualización de gráficos y otro panel de control para la selección de las variables de adquisición de datos.

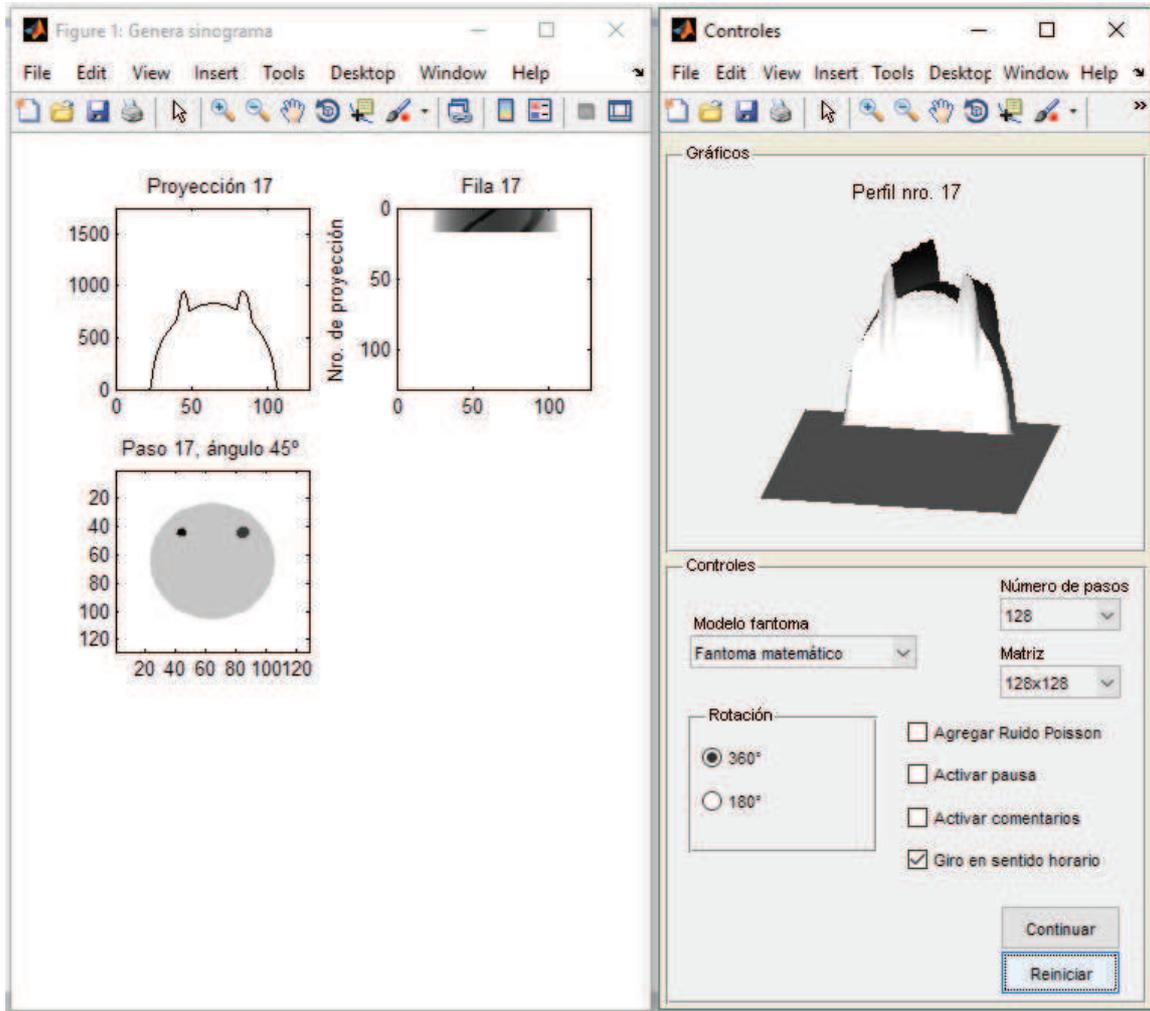


Figura 3. Panel de control de simulador y ventana de adquisición de las proyecciones donde se muestra la rotación del modelo matemático al ángulo de 45° en el que las fuentes puntuales se encuentran a la mayor separación horizontal, lo que se corresponde con la máxima separación de los picos observada en el perfil correspondiente a la proyección número 17.

Se prevé que se produzcan pausas durante la ejecución de la simulación. Éstas fueron convenientemente seleccionadas y distribuidas, de manera de hacer explícitas algunas situaciones particulares presentes en el proceso de adquisición, donde podrán visualizarse comentarios, referencias o indicaciones, tal como se muestra en la figura 4, donde se despliega una nueva ventana conteniendo un texto explicativo.

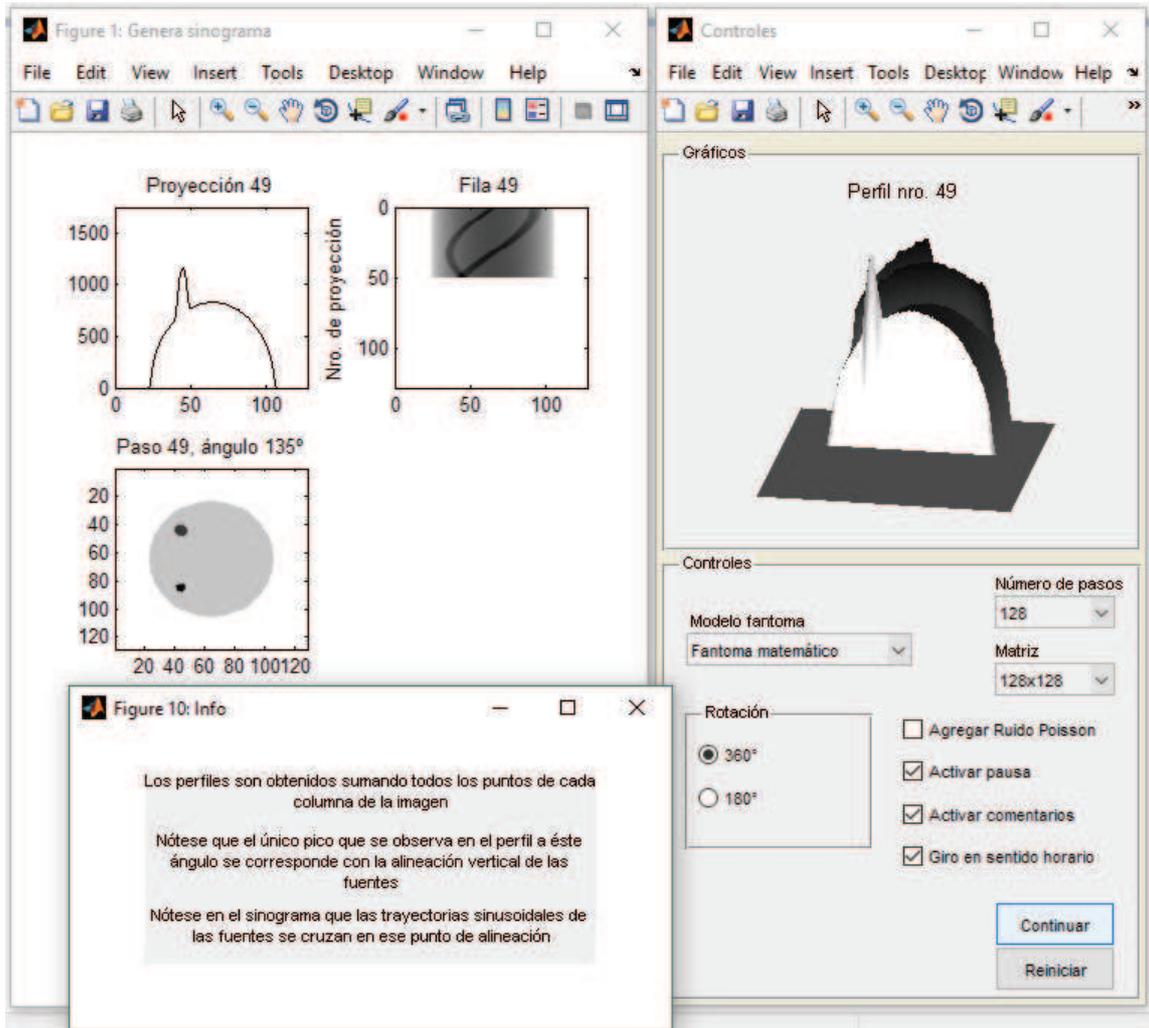


Figura 4. Panel de control de simulador y ventana de adquisición de las proyecciones donde se muestra la rotación del modelo matemático al ángulo de 135° en el que las fuentes puntuales se encuentran alineadas verticalmente, lo que se corresponde con la presencia de un único pico en el perfil correspondiente a la proyección número 17. En el panel de control se observan activadas las casillas de pausa y comentarios, por lo que aparece en este paso una ventana con comentarios y textos explicativos.

b. La definición del filtro de reconstrucción

¿Qué tipo de filtros se van a definir? ¿Utilizaremos solo filtros pasa-bajos o también filtros de realce?

¿Qué funciones de filtros vamos a incorporar?

¿Qué variables vamos a manejar? ¿Qué datos se van a representar?

Una vez finalizada la etapa de adquisición de datos con la obtención del sinograma, se continúa con la definición de la función del filtro de reconstrucción.

La definición de la función del filtro de reconstrucción dependerá de alguna de las características de los datos adquiridos en la etapa anterior.

En primer lugar, se visualizará la imagen de la transformada de Fourier (FFT) del sinograma obtenido durante la adquisición.

Desde el menú desplegable del panel de control, luego se podrá seleccionar el filtro pasa-bajo a emplearse en la reconstrucción. Entre los filtros disponibles en el menú, se podrán incluir las funciones de los filtros Butterworth, Sheep Logan, Hann, Hamming, Parzen, Ramp y una función plana para la retroproyección simple.

La función del filtro se define a partir de la elección de los valores de distintas variables. Los valores de la frecuencia de corte o el orden del filtro serán asignados por medio del ajuste de controles deslizantes (sliders). Alguna de las variables, como el orden del filtro, solo será necesaria para definir cierto tipo de filtros, como el filtro Butterworth, por lo cual la visualización o aparición del control deslizante correspondiente en el panel de control dependerá del tipo de filtro seleccionado.

La función del filtro es visualizada en el panel de control actualizándose en tiempo real, a medida que se van ajustando las variables que lo definen con los controles deslizantes. Junto a la función del filtro se grafican las funciones del filtro Rampa, la resultante del producto de éste por la función del filtro y un nivel de referencia de la frecuencia de corte elegida, ver la figura 5.

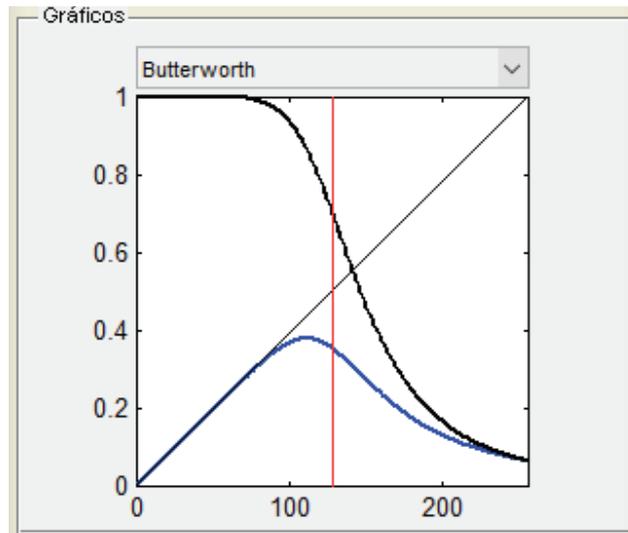


Figura 5. Imagen del panel del control donde se grafica la función del filtro Butterworth junto a la función del filtro Rampa y la resultante del producto entre ambos. Se observa además un nivel de referencia de la frecuencia de corte utilizada.

Simultáneamente a la visualización de la función del filtro, se muestra la imagen de la transformada de Fourier del sinograma y la del sinograma filtrado, actualizándose continuamente en tiempo real, a medida que se ajustan las variables del filtro mediante los controles deslizantes, visualizados ahora en el panel de control. Conjuntamente con el sinograma filtrado, se muestran los espectros de frecuencia de la imagen original (sinograma) y la imagen filtrada. Finalmente, se visualizará la imagen del sinograma filtrado representado en el dominio espacial. Ver la figura 6.

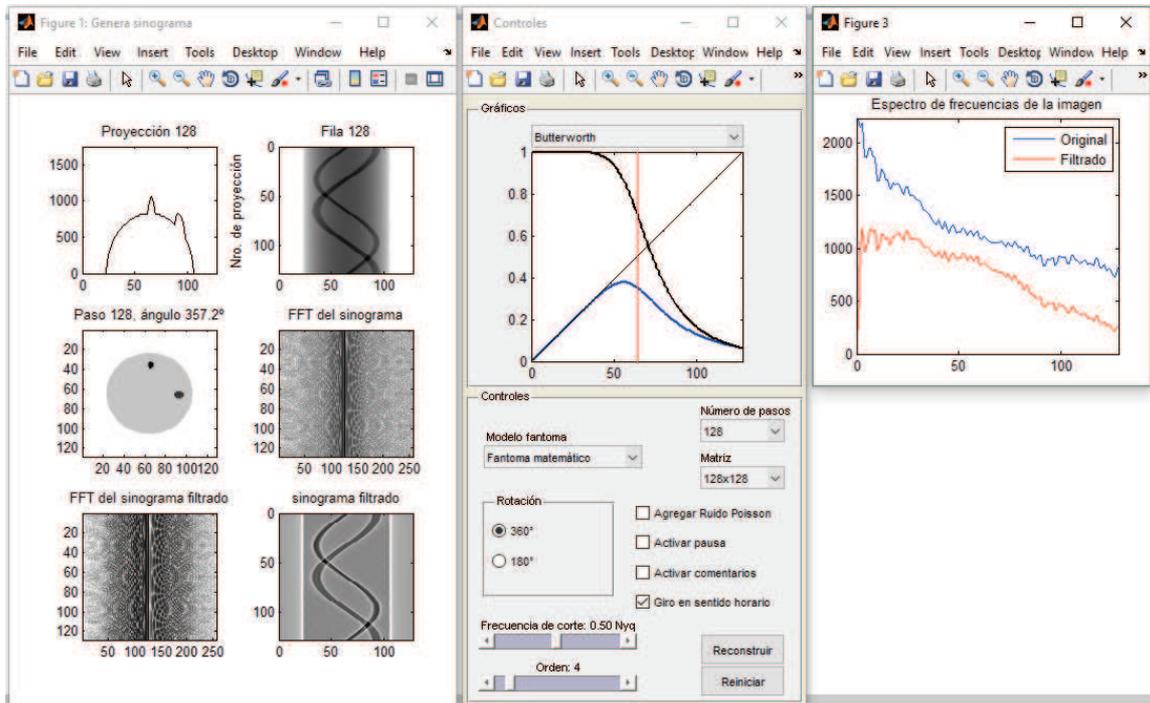


Figura 6. En el centro se observa el panel de control del simulador, visualizándose en el panel de gráficos el filtro Butterworth seleccionado para la reconstrucción. A la izquierda se observa una ventana con los datos de las proyecciones, donde se muestra el perfil de la proyección 128, el sinograma completo, el modelo de corte empleado, la FFT del sinograma, la FFT del sinograma filtrado y la FFT inversa del sinograma filtrado. En la ventana de la derecha se observa el espectro de frecuencias del sinograma original y del sinograma filtrado.

En la figura 7 se muestran las mismas ventanas y panel del simulador que en la figura 6, utilizando una función de filtro diferente, de tal forma que se observe la variación producida por el filtrado en la FFT del sinograma, en su antitransformada, es decir, el sinograma filtrado representado en el dominio espacial y en sus respectivos espectros de frecuencia.

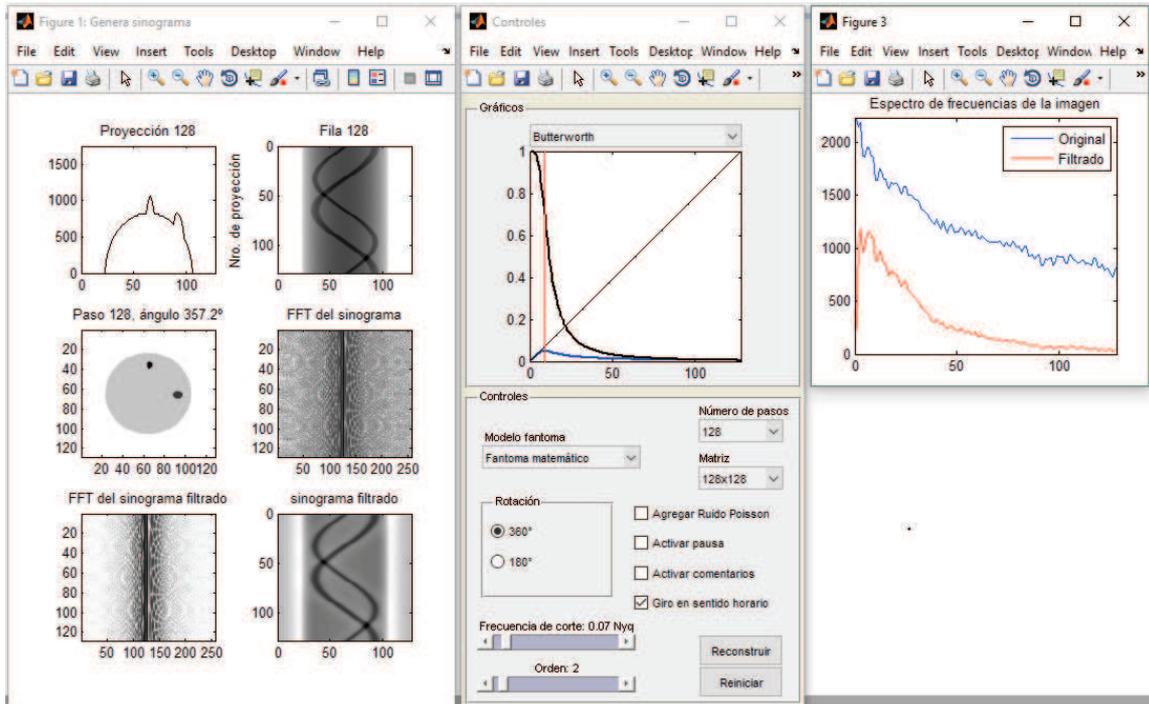


Figura 7. Se muestran los mismos paneles y ventanas que en la figura anterior, utilizando un filtro Butterworth con menor frecuencia de corte, de manera de poder observar los cambios producidos por el filtrado en la FFT del sinograma, en su antitransformada y en sus respectivos espectros de frecuencia.

c. La retroproyección filtrada de datos

La retroproyección de datos es un proceso totalmente transparente al operador, es decir, no se presentan datos en pantalla durante el mismo y solo se visualiza el resultado final al terminar el procedimiento. Ningún equipo comercial muestra los datos ni los pasos de este procedimiento en pantalla. Tampoco las funciones *radon* e *iradon* de MATLAB, utilizadas respectivamente para proyectar los datos y reconstruirlos, muestran los pasos y sus datos parciales en pantalla.

Por este motivo y para lograr su mayor comprensión, cada paso del proceso se mostrará en un nuevo panel del simulador.

Las variables intervinientes en esta sección son las mismas que las seleccionadas en la etapa de adquisición y elección de la función del filtro. El proceso de retroproyección filtrada se muestra paso a paso en el panel de la derecha de la figura 8. En dicho panel se visualizarán cada uno de los perfiles filtrados, asociados al nivel del perfil correspondiente en el sinograma filtrado. Alineado verticalmente a los perfiles, se mostrará en pantalla el modelo empleado, rotado al ángulo correspondiente para cada proyección, y también

alineado al mismo, se visualizarán los datos del perfil retroproyectados verticalmente sobre una matriz. Estos datos serán además visualizados luego de ser rotados al ángulo correspondiente y se irán sumando sobre la matriz de trabajo que irá conformando el corte a ser reconstruido, al tiempo que se muestra su actualización permanente en tiempo real sobre el panel de reconstrucción. En una nueva ventana ubicada sobre el panel central, se irá mostrando la actualización en tiempo real del corte en representación 3D.

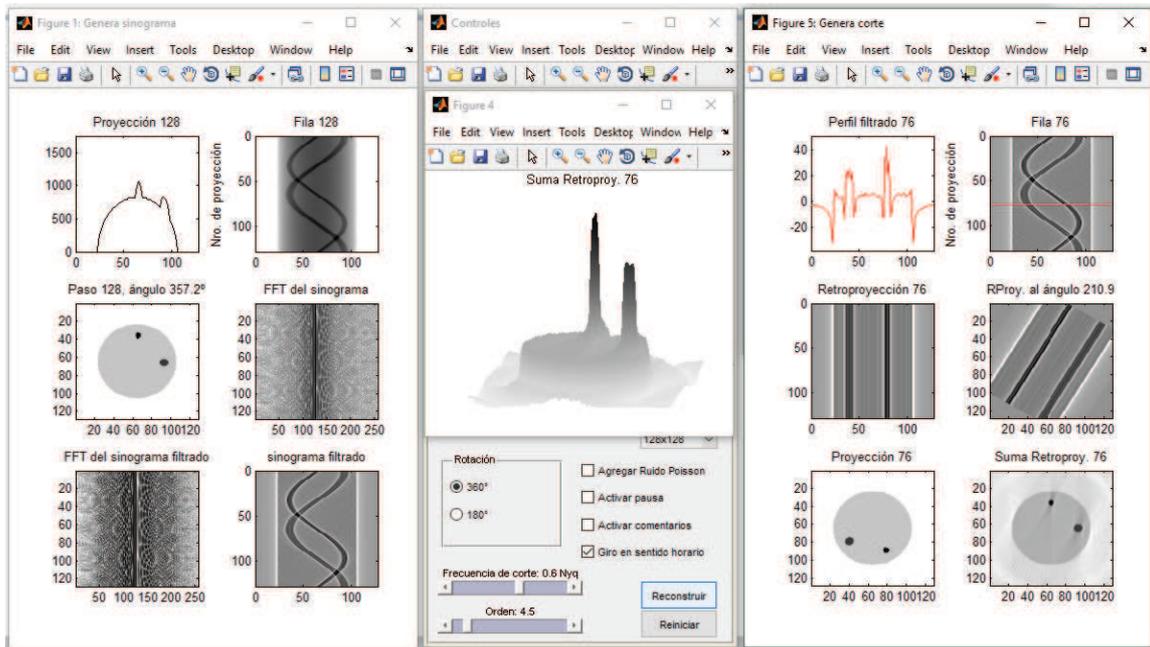


Figura 8. Paneles del simulador, donde puede observarse en la ventana de la derecha cada uno de los pasos del proceso de reconstrucción tomográfica realizado por el método de Retroproyección Filtrada.

En la figura 9, se muestran los tres paneles del simulador con los resultados finales de la reconstrucción tomográfica del modelo de la moneda de un peso.

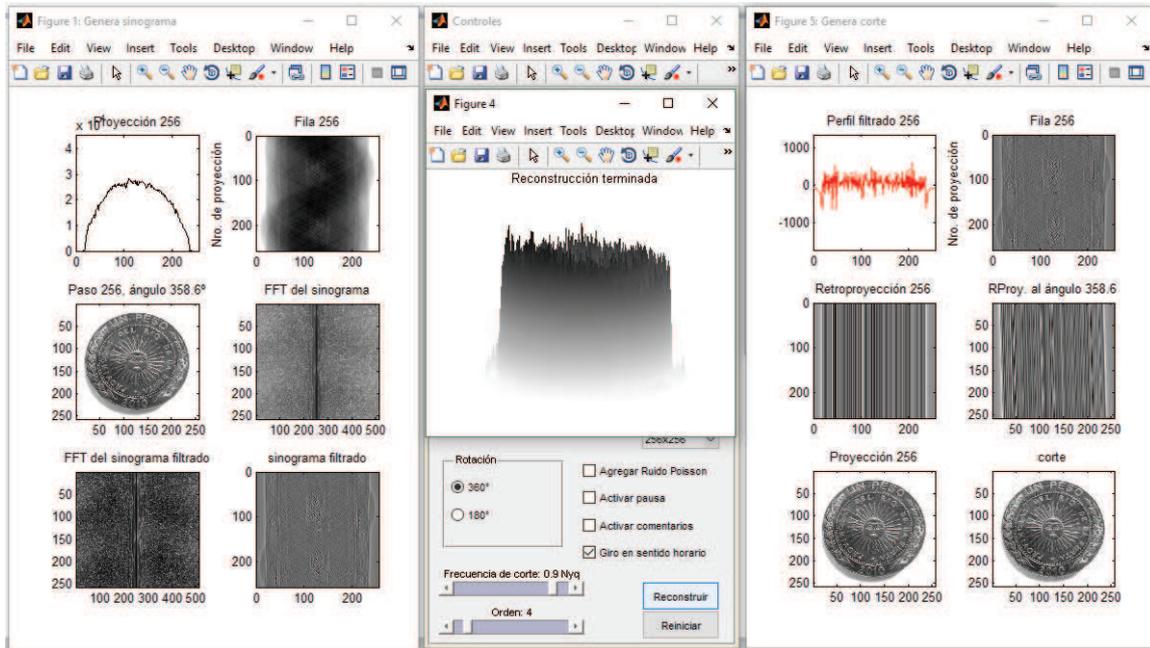


Figura 9. Paneles del simulador con los resultados finales de la reconstrucción tomográfica del modelo de la moneda de un peso.

5.5 La disección del simulador

¿Se puede abrir, se puede desarmar un simulador? ¿Se puede ver cómo es en su interior? ¿Se puede diseccionar? ¿Y descubrir cómo funciona? ¿Se puede relacionar su estructura con su función?

La disección del simulador, es decir, su análisis minucioso, se plantea como una estrategia de aprendizaje implementada en el marco de una secuencia didáctica específica desarrollada para el dictado de una determinada asignatura en particular. Dicha estrategia consiste en que el alumno logre establecer las relaciones entre la estructura y la función del simulador, es decir, entre el código del lenguaje de programación, entendiendo su significado y cada uno de los pasos, símbolos y conceptos visualizados en la aplicación, de manera de lograr relacionarlos significativamente con los contenidos expuestos en las clases teóricas y el libro de texto.

El simulador fue diseñado en MATLAB, por lo cual su código es totalmente accesible. Los alumnos han aprobado materias como Procesamiento Digital de Imágenes, Informática y Programación. Y aunque no hayan logrado suficiente conocimiento o experiencia en la programación con MATLAB, podrán comprender muchas de las funciones y rutinas que allí se definen.

Desde el punto de vista operativo, el uso del simulador no requiere ninguna capacitación previa. Fue desarrollado mediante una Interface Gráfica de Usuarios de manera que su uso resulte totalmente amigable e intuitivo. En este sentido, su utilización y la visualización de cada etapa y cada uno de los pasos estipulados, lo convertirán en una aplicación completamente accesible y comprensible.

El uso de la aplicación, desde el punto de vista operativo, podrá ser de gran utilidad para la formación y capacitación del alumno dado que permitirá:

- Identificar cada uno de los pasos del procedimiento.
- Intervenir en el procedimiento, seleccionando las variables que determinan la adquisición y procesamiento.
- Realizar el seguimiento de cada paso del procedimiento mediante la visualización de datos e imágenes en pantalla.
- Relacionar cada paso del proceso con el código de MATLAB del simulador y los fundamentos teóricos descritos en el texto de referencia.
- Relacionar los parámetros seleccionados con la obtención de resultados parciales y finales del procedimiento.
- Realizar el reinicio y la repetición indefinida del procedimiento variando cualquiera de sus parámetros.

El análisis minucioso del mismo, será de utilidad para poder relacionar su funcionamiento con su estructura y la codificación en MATLAB.

5.6 Análisis del diseño como estrategia de aprendizaje

Las cuestiones relativas al diseño de la GUI no serán aquí desarrolladas en detalle. Solo serán consideradas mínimamente aquellas relativas a la definición de objetos en relación a la comprensión de la selección de opciones de menú, elección de variables o la presentación de datos.

Tal como se mencionó anteriormente, el diseño del simulador se estructuró alrededor de tres funciones principales, quedando determinada una etapa de adquisición, otra de filtrado y otra de retroproyección de datos.

Una de las primeras preguntas a responder en relación a la etapa de adquisición de datos es cómo realizamos la proyección de los mismos.

Una vez discutidos los fundamentos de la transformada de Radón, se podrá ver que es perfectamente factible realizar la proyección de datos desde la matriz que contiene el

modelo, utilizando la función **sum** de MATLAB. Dicha función, aplicada sobre la matriz del modelo, da como resultado un vector que contiene la suma de cada columna de la matriz. Para proyectar los datos a cierto ángulo, se podría discutir la conveniencia de rotar la matriz del modelo en lugar de calcular la proyección correspondiente para cada ángulo. Esto último implicaría calcular las coordenadas de cada proyección en relación a las coordenadas de cada punto del modelo. Visto que, según la teoría, las coordenadas del sistema detector son consideradas como un sistema estacionario, resulta viable rotar en su lugar, la imagen del modelo, siendo además que la función **imrotate**, empleada para esto, realiza internamente los cálculos necesarios para su interpolación.

La obtención del sinograma no debería requerir mayores dificultades dado que solo implica ordenar las proyecciones en filas sucesivas. En la figura 10 puede observarse el código de MATLAB, donde se define la sentencia empleada para proyectar los datos de la matriz del modelo en la línea de programa 352. La sentencia para la generación del sinograma puede verse en la línea 353.

```

347
348 % Genera el sinograma -----
349 for ang = 0:a:rot-a
350     i = i+1;
351     img_r = imrotate(img,ang*sgiro,'bilinear','crop'); % +ang, sentido horario
352     proy(:,i) = sum(img_r); % Proyección
353     sino(i,:) = proy(:,i); m = max(proy(:,i)); % Sinograma
354
355     figure(1), colormap(rg); % 3500 fant mat, .
356     subplot(321), plot(proy(:,i),'k'), title(['Proyección' blanks(1) num2str(i)]), axis([0 M 0 mf]); % m*1.
357     subplot(322), imagesc(sino), title(['Fila' blanks(1) num2str(i)]), ylabel('Nro. de proyección'), axis([0 M
358     Ang = num2str(round(ang*10)/10);
359     subplot(323), imagesc(img_r), title(['Paso' blanks(1) num2str(i) ', ángulo' blanks(1) Ang '**']);
360

```

Figura 10. Parte del código de MATLAB del simulador donde se muestra la proyección de datos definida en la línea 352 y la correspondiente a la generación del sinograma en la línea 353.

Respecto al cálculo de su transformada de Fourier podrían surgir algunas dudas sobre si se trata de una transformada bidimensional, unidimensional de las filas o unidimensional de las columnas. Podrán también surgir dudas sobre las dimensiones de la imagen de la transformada de Fourier respecto a las del sinograma y en relación a la construcción que se hará de los filtros. La consulta al texto de referencia sobre los fundamentos de la reconstrucción en SPECT y la revisión del código de MATLAB aportarían a la discusión y al debate de estas cuestiones, promoviendo además el surgimiento de las ideas previas o conceptos previos del alumno, a partir de los que se deberá trabajar.

Respecto a la etapa de filtrado, la definición de filtros también permitiría abordar algunos tópicos importantes.

¿Puede prescindirse del uso del filtro Rampa?

¿Qué relación existe entre los filtros pasa-bajo y el problema del ruido?

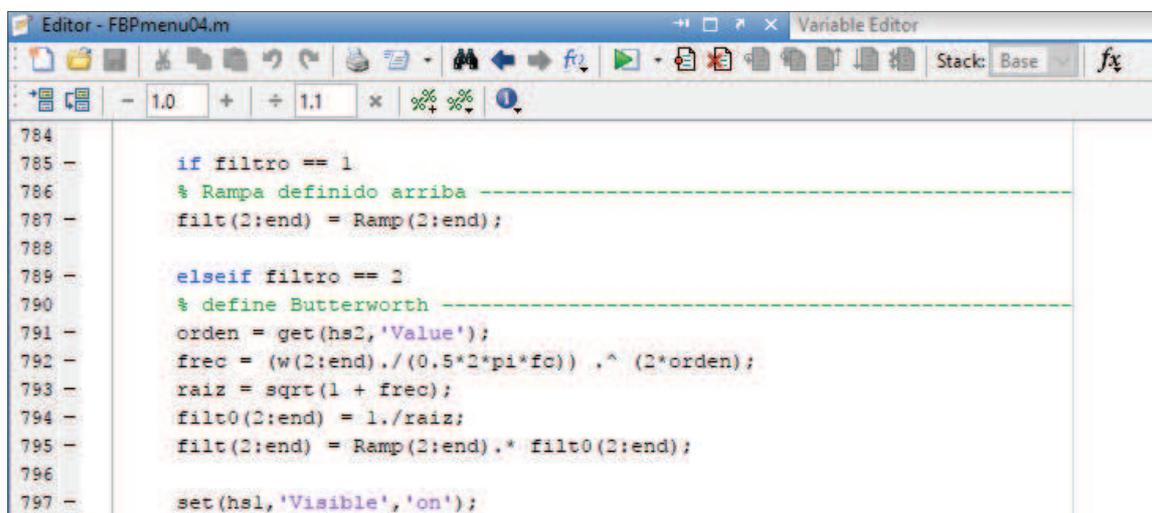
¿Cuál es el problema del ruido en la RPF?

¿Cómo afectan la frecuencia de corte y el orden del filtro el resultado de la imagen filtrada?

¿Cómo se define el rango de frecuencias del filtro? ¿Cómo se calculan los espectros de frecuencia?

¿Cómo se filtra el sinograma en el dominio de frecuencias?

¿Puede realizarse esta operación en el dominio espacial? ¿Por qué cree que no se ha implementado en los sistemas comerciales?



```
784
785 -     if filtro == 1
786 -         % Rampa definido arriba -----
787 -         filt(2:end) = Ramp(2:end);
788
789 -     elseif filtro == 2
790 -         % define Butterworth -----
791 -         orden = get(hs2, 'Value');
792 -         frec = (w(2:end)./(0.5*2*pi*fc)) .^ (2*orden);
793 -         raiz = sqrt(1 + frec);
794 -         filt0(2:end) = 1./raiz;
795 -         filt(2:end) = Ramp(2:end).* filt0(2:end);
796
797 -     set(hs1, 'Visible', 'on');
```

Figura 11. Parte del código de MATLAB del simulador donde se muestran algunas líneas de programa dónde se define la función del filtro Butterworth.

Muchas de estas preguntas pueden ser respondidas a partir de la observación de los resultados obtenidos, por simple operación del simulador, o bien, analizando su código de programación o consultando el material de texto.

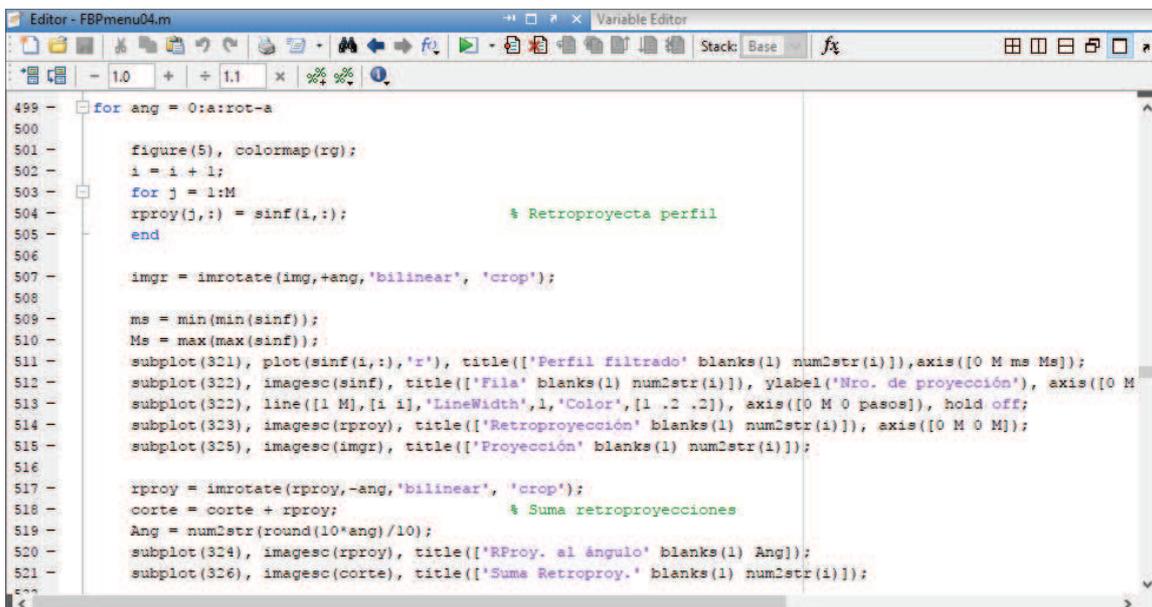
De esta forma, se podrán incorporar funciones de nuevos filtros, analizando la forma de definición de las funciones de filtros ya incorporadas en el simulador. En la figura 11, se muestra parte del código de MATLAB del simulador dónde se define la función del filtro Butterworth.

Respecto a la etapa de retroproyección, el análisis y observación de la retroproyección de datos tal vez sea el más significativo. Esto se debe, como ya se mencionó, a que su visualización no es posible en ninguno de los procedimientos desarrollados en los programas de los equipos comerciales. Tampoco las funciones *radon* e *iradon*, de MATLAB muestran detalles en pantalla de los pasos intermedios e internos de los procedimientos.

Aquí se discutirá sobre la forma de realizar la retroproyección de cada perfil. Surgirán preguntas respecto a la conveniencia de rotar las retroproyecciones o la matriz de trabajo sobre la que se irá generando el corte.

Y otras como ¿De qué forma se van sumando las retroproyecciones?

¿Por qué existen valores negativos en los perfiles? ¿Cómo se explican y tratan los valores negativos en el corte en proceso de reconstrucción?



```
499 - for ang = 0:a:rot-a
500 -
501 -     figure(5), colormap(rg);
502 -     i = i + 1;
503 -     for j = 1:M
504 -         rproj(j,:) = sinf(i,:);           % Retroproyecta perfil
505 -     end
506 -
507 -     imgz = imrotate(img,+ang,'bilinear', 'crop');
508 -
509 -     ms = min(min(sinf));
510 -     Ms = max(max(sinf));
511 -     subplot(321), plot(sinf(i,:), 'r'), title(['Perfil filtrado' blanks(1) num2str(i)]), axis([0 M ms Ms]);
512 -     subplot(322), imagesc(sinf), title(['Fila' blanks(1) num2str(i)]), ylabel('Nro. de proyección'), axis([0 M 0 pasos]), hold off;
513 -     subplot(322), line([1 M],[i i], 'LineWidth',1, 'Color',[1 .2 .2]), axis([0 M 0 pasos]), hold off;
514 -     subplot(323), imagesc(rproj), title(['Retroproyección' blanks(1) num2str(i)]), axis([0 M 0 M]);
515 -     subplot(325), imagesc(imgz), title(['Proyección' blanks(1) num2str(i)]);
516 -
517 -     rproj = imrotate(rproj,-ang,'bilinear', 'crop');
518 -     corte = corte + rproj;                 % Suma retroproyecciones
519 -     Ang = num2str(round(10*ang)/10);
520 -     subplot(324), imagesc(rproj), title(['RProy. al ángulo' blanks(1) Ang]);
521 -     subplot(326), imagesc(corte), title(['Suma Retroproy.' blanks(1) num2str(i)]);
522 -
```

Figura 12. Parte del código de MATLAB del simulador donde se define la rutina de retroproyección filtrada del sinograma.

En la figura 12, se muestra parte del código de MATLAB del simulador dónde se define la rutina de retroproyección del sinograma filtrado. Nótese que en la línea 504 se define una operación que da lugar a la retroproyección del sinograma para cada perfil del mismo, obteniéndose en cada paso una matriz que luego es rotada a partir de la operación definida en la línea 517. La misma será luego sumada a una matriz de trabajo mediante la instrucción definida en la línea 518, la que dará como resultado al finalizar el proceso, el corte finalmente reconstruido.

5.7 Relación con el material teórico sobre los fundamentos de la reconstrucción tomográfica

La utilización de la aplicación del simulador contará con un material teórico de apoyo sobre los fundamentos de la reconstrucción tomográfica en SPECT. Dicho material ha sido elaborado en el marco del seminario Temas Especiales de Física, dictado durante el segundo cuatrimestre en esta misma especialización. El mismo ha sido escrito en español, dado que el material de texto referido al tema en particular, se encuentra frecuentemente escrito en inglés, siendo generalmente bastante costoso para el alumno y de difícil acceso. El material disponible en español, lamentablemente es escaso y desarrolla contenidos parciales, generalmente fraccionados, de variada extensión, rigurosidad y profundidad.



Figura 13. Imágenes reconstruidas de una moneda de un peso utilizando un filtro Butherworth de orden 4 y valores de frecuencia de corte de 0.05, 0.20, 0.40, 0.70 y 1 de Nyq (arriba). En la serie de abajo, se muestra en un detalle ampliado el mismo conjunto de imágenes.

El material describe los fundamentos físico-matemáticos de la reconstrucción tomográfica por el método de retroproyección filtrada y proporciona ejemplos con imágenes

obtenidas en MATLAB, de la misma forma en que son obtenidas y procesadas las imágenes en el simulador. De esta manera, el alumno podrá encontrar relaciones precisas y ejemplos concretos con el mismo tipo de datos e imágenes, lo que permitirá una mejor comprensión del procedimiento que se está ejecutando y analizando.

En la figura 13, se muestra un ejemplo del tipo de material presentado en el texto teórico de referencia, donde se presenta la reconstrucción tomográfica del modelo de la moneda de un peso, utilizando un filtro Butterworth de orden 4, variando de forma creciente su frecuencia de corte.

6. Resultados

Se ha logrado desarrollar satisfactoriamente la aplicación del simulador, codificando en MATLAB alrededor de 900 líneas de programa, entre las que se incluyen líneas de texto con comentarios, referencias y separadores empleados para su mejor interpretación.

La utilización de MATLAB y el empleo de las GUI han resultado de gran utilidad y conveniencia para el diseño y desarrollo del simulador. Esto ha permitido la creación de una aplicación que funciona correctamente de acuerdo con las especificaciones del diseño propuesto y con un excelente rendimiento de procesamiento en tiempo real.

La aplicación permite la selección y visualización de los parámetros de adquisición y procesamiento por medio de la utilización de distintos componentes, entre los que se incluyen botones pulsadores, botones de opciones, cuadros de texto, controles deslizantes, casillas de verificación y componentes Active X.

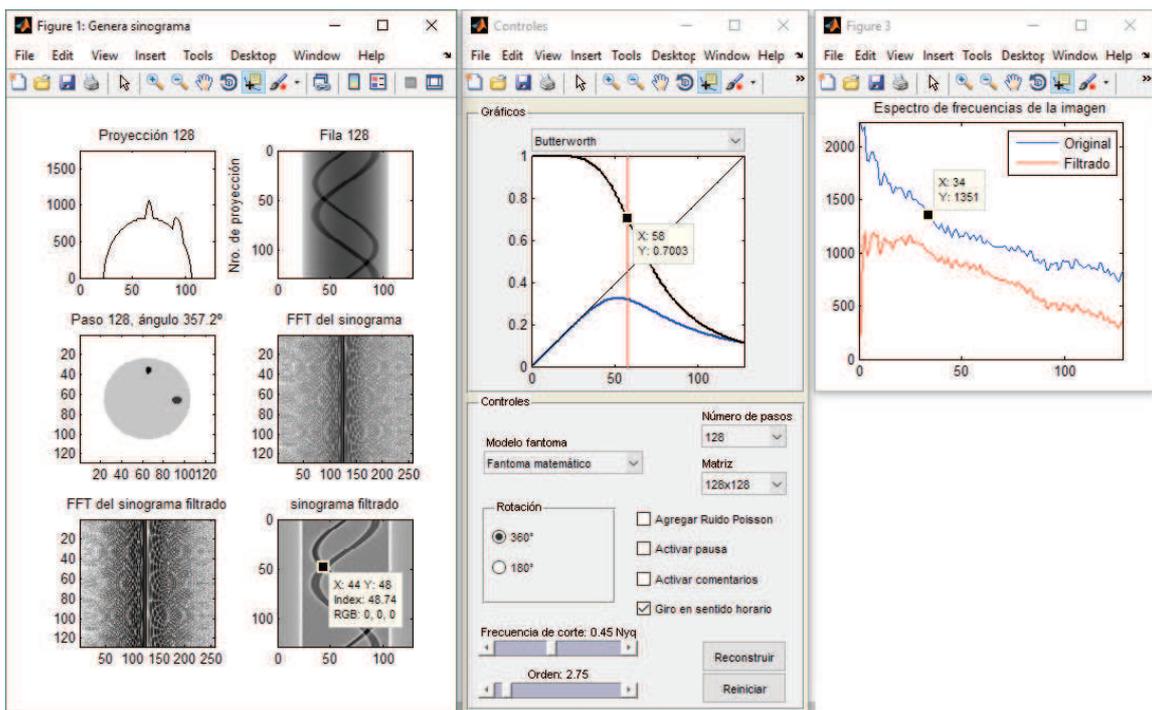


Figura 14. Diferentes paneles del simulador donde pueden observarse los resultados parciales y datos estadísticos obtenidos sobre algunas de las imágenes y curvas de diferentes funciones.

El simulador permite la visualización de resultados parciales y finales del proceso de adquisición y reconstrucción tomográfica. Dicho proceso puede ser detenido transitoriamente para la mejor observación de los resultados y reanudarse luego mediante la intervención del operador.

La interface gráfica permite el acceso a los menús de herramientas definidas usualmente en las figuras de MATLAB, pudiendo realizarse diversas operaciones como rotaciones, desplazamientos, ampliaciones o reducciones de las presentaciones y obtenerse datos estadísticos sobre las funciones e imágenes visualizadas. Asimismo, los datos parciales y finales del procesamiento podrán ser salvados para su posterior revisión, documentación o análisis.

En la figura 14 puede observarse sobre los distintos paneles del simulador, la visualización de resultados parciales y datos estadísticos obtenidos sobre algunas de las imágenes y curvas de las diferentes funciones representadas. La visualización en forma dinámica de imágenes y gráficos permite la elaboración de relaciones entre conceptos abstractos y favorecen la evolución conceptual de los alumnos.

La visualización de las proyecciones para cada ángulo, la relación entre la imagen del sinograma adquirido y la del sinograma filtrado y la representación de sus respectivas FFT, no observados comúnmente en equipos comerciales durante las prácticas clínicas, permite alcanzar una mayor atribución de significado al proceso que se estudia. Igualmente ocurre respecto a la interacción que se establece entre las imágenes, sus espectros de frecuencia, la función del filtro y los resultados del filtrado sobre ellas, lográndose además un mayor grado de conceptualización.

La totalidad de los contenidos disciplinares específicos han sido desarrollados y expuestos durante el proceso de simulación. La adquisición de datos tomográficos, la elección de la función del filtro de reconstrucción y el filtrado del sinograma; y la retroproyección del sinograma filtrado, junto a cada una de las variables, se presentan en diferentes paneles de la interface gráfica del simulador. Cada uno de los datos, imágenes y funciones observadas en la interface gráfica tienen su correlato con el mismo tipo de datos presentados en el libro de texto de referencia y con su correspondiente definición en el código de MATLAB de la aplicación. Dado que los contenidos disciplinares específicos son dictados en clase por el mismo docente diseñador del simulador, quién es conocedor y ha participado además de la formación de los alumnos en las prácticas clínicas, se puede considerar que la aplicación ha alcanzado un alto grado de instrumentalización.

Los resultados preliminares sobre el uso del simulador son altamente satisfactorios, dado que resulta una aplicación amigable e intuitiva, de fácil manejo, con un alto grado de interacción y una presentación clara de resultados en su interface gráfica.

7. Discusión

Las limitaciones impuestas al alcance de este Trabajo Integrador Final, han permitido obtener resultados exclusivamente sobre el diseño, desarrollo e implementación de la aplicación del simulador, quedando pendiente la evaluación de los resultados de su aplicación en el aula en el marco de una secuencia didáctica específica y requiriendo además la evaluación de un informe técnico o memoria a realizar por los alumnos.

Los resultados esperados respecto a su implementación en el marco de los proyectos de investigación orientada, que incluyan tanto el diseño de simuladores de este tipo como el desarrollo de mejoras e innovaciones en la aplicación, en vista a la experiencia desarrollada con este diseño, prometen ser igualmente alentadores. Sin embargo, sus resultados deberán ser evaluados a partir de proyectos concretos presentados oportunamente por los estudiantes.

El diseño y análisis comparativo del simulador con otras metodologías empleadas para la reconstrucción tomográfica permitirá una mejor comprensión del alcance y las limitaciones del método y el modelo utilizado. La necesidad de implementación de mejoras e innovaciones que den respuesta a la aparición de nuevos problemas o desafíos, permitirá orientar la discusión hacia las formas y metodología de producción y validación del conocimiento desde una perspectiva epistemológica y la comprensión del carácter no permanente del conocimiento científico. Al mismo tiempo, la discusión contextualizada del interés y relevancia del desarrollo e implementación de innovaciones en la aplicación contribuirá a superar las prácticas experimentales aporreadas y romper con las concepciones empirico-inductivistas transmitidas en la enseñanza de las ciencias.

De esta forma, mediante el diseño y el análisis del simulador se podrán abordar situaciones problemáticas abiertas en las que los estudiantes deban tomar decisiones para precisarlas y transformarlas en problemas concretos. Al diseñar, por ejemplo, la estructura de un sinograma para su posterior representación y visualización, o la función de un filtro de reconstrucción que debe atenuar su amplitud a partir de un determinado valor de su frecuencia de corte, situamos al alumno frente a un problema abierto que debe responder de manera general ante cualquier valor de entrada de las variables intervinientes, y que por otra parte, tendrá que transformar en un problema concreto al momento de definirlo específicamente para analizar sus resultados frente a la elección de un determinado valor de sus parámetros, superando así las limitaciones observadas respecto a los problemas de lápiz y papel.

La visualización dinámica del proceso de retroproyección y la formación gradual y simultánea del corte tomográfico en la interface del simulador, no observables en los

equipos comerciales de tomografía y SPECT, al igual que otras etapas del proceso, permitirán con la debida intervención del docente, indagar sobre las ideas previas de los alumnos, intentando que aflore mediante la puesta en escena de situaciones problemáticas, un conflicto cognitivo que ponga en cuestión y permita una reestructuración de las ideas preexistentes, consolidando nuevas ideas y alcanzando un mayor grado de significación y conceptualización.

Igualmente, mediante la adecuada intervención del docente, se podrán abordar temáticas relacionadas con otros aspectos relevantes de la práctica clínica en los estudios tomográficos. Permitirá analizar algunas cuestiones relativas al impacto de la tecnología en el uso médico de las radiaciones ionizantes, la utilización de fuentes abiertas de isótopos radioactivos y sus implicancias en la sociedad, el análisis de la dosimetría del paciente y el de la población en general y algunas cuestiones éticas relativas al manejo del paciente. Así, a partir del análisis de las prácticas desarrolladas en nuestro medio, podrán abordarse algunos problemas relativos a las relaciones entre ciencia, tecnología, sociedad y ambiente (CTSA).

La incorporación del simulador se plantea como una oportunidad para mejorar y ampliar la propuesta pedagógica, entendiendo que las TD no constituyen un fin en sí mismas ni tampoco deben pensarse como herramientas neutrales sino como prácticas sociales que conectan objetos, personas y flujos de información. Se plantea entonces, la incorporación de las TD de manera transversal en las áreas curriculares, posibilitando el aporte de una creciente variedad de recursos que colaboren en el desarrollo de nuevas competencias.

Dada su portabilidad, el uso del simulador ofrece al alumno la posibilidad de organizar y mediar los aprendizajes tanto en los contextos formales educativos como fuera del ámbito de enseñanza. Al mismo tiempo, ofrece a los profesores la posibilidad de participar en la construcción de actividades innovadoras que fomenten en los profesores y alumnos un cambio conceptual y metodológico con respecto al estudio y enseñanza de las ciencias, de forma de ir transformando las formas expositivas tradicionales de la enseñanza de las ciencias naturales.

Dadas las propuestas de diseño, desarrollo e implementación de mejoras del simulador bajo la forma de investigación orientada y con la debida intervención docente, se considera factible alcanzar cada uno de los objetivos propuestos en el mencionado decálogo de Furió (2005). Particularmente la presentación de situaciones problemáticas abiertas, la importancia dada a la elaboración de diseños y a la planificación de la actividad experimental, el planteo de la emisión de hipótesis, el análisis detenido de los resultados, la consideración de nuevas posibles perspectivas, la realización de análisis cualitativos y significativos y la asignación de una especial importancia a la elaboración de informes o

memorias científicas, son varios de los aspectos del decálogo que se encuentran explícitamente propuestos en el proyecto del simulador.

En general, se espera que este tipo de aplicaciones permita lograr un mayor grado de significación y conceptualización por parte del alumno. Las mismas, ofrecen posibilidades de observación y manipulación que colaboran en la construcción de interpretantes. Su funcionalidad exploratoria, sumada a la inmediata respuesta obtenida frente a los cambios introducidos de forma interactiva en las variables, promueve la aparición de conflictos cognitivos, permiten la negociación de significados, la construcción de conceptos y la validación de hipótesis, promoviendo así un aprendizaje significativo crítico.

8. Conclusiones

Los resultados obtenidos permiten concluir que es factible diseñar, desarrollar e implementar este tipo de simuladores educativos con las herramientas y metodología propuestas, lográndose la creación de aplicaciones que resultan amigables e intuitivas, de fácil manejo, con un alto grado de interactividad y un excelente rendimiento de procesamiento en tiempo real.

El conocimiento específico del campo disciplinar por parte del equipo de diseño y desarrollo del simulador permitió desarrollar la aplicación con un alto nivel de instrumentalización.

La visualización de imágenes, datos y gráficos de funciones, a través de una interface que muestra de forma interactiva las diferentes etapas del procedimiento, permite junto a la intervención del docente y la utilización del material teórico de referencia, alcanzar un mayor grado de significación y conceptualización de los contenidos disciplinares expuestos para lograr la construcción de conocimiento de forma significativa.

Dada su portabilidad, este tipo de aplicaciones resultan de gran interés, para su utilización y análisis en el aula o las prácticas de laboratorio, pudiendo extenderse su uso a otros ámbitos dado que la aplicación puede ejecutarse en las propias computadoras personales de los alumnos.

El diseño y desarrollo de estas aplicaciones en el marco de proyectos de tesis, aunque no se han aplicado aún en proyectos concretos que permitan obtener resultados, parecen ofrecer grandes posibilidades para su implementación.

La propuesta puede ser considerada como una contribución para superar las formas tradicionales de enseñanza de las ciencias naturales, de carácter expositivo, empirista y asociacionista, sustituyéndolas por aquellas basadas en la teoría del aprendizaje significativo crítico, de carácter constructivista, de manera de emplear una mayor variedad de recursos y principios que faciliten el paso de la estructura conceptual del contenido educativo en ciencias a la estructura cognitiva del alumno de manera significativa.

9. Bibliografía

Bachelard G. (1938). La Formation de L'esprit scientifique. Paris: Vrin. En Gil Pérez D. ¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Oficina Regional de Educación de la UNESCO para América Latina y el Caribe. OREALC/UNESCO. Santiago de Chile, enero de 2005.

Batista, M. A. y col. (2007). Tecnologías de la información y la comunicación en la escuela. Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología, Dirección Nacional de Gestión Curricular y Formación Docente.

Bouciguez, M. J. (2010). Capítulo IV. Aportes de un entorno de simulación a una situación de enseñanza y aprendizaje. En Santos, G. y Stipcich, S. (2010). Tecnología educativa y conceptualización en física. Estudios sobre interacciones digitales, sociales y cognitivas. Consejo Editorial, UNCPBA.

Bruyant P. (2002). Analytic and Iterative Reconstruction Algorithms in SPECT. J Nucl Med; 43:1343–1358.

Bunge, M. (1980). Epistemología. Siglo XXI Editores. Argentina.

Carrascosa, J. y col. (2005). ¿Cómo hacer posible el aprendizaje significativo de conceptos y teorías? En Gil Pérez D. ¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Oficina Regional de Educación de la UNESCO para América Latina y el Caribe. OREALC/UNESCO. Santiago de Chile, enero 2005.

Cataldi, Z. (2000). Una metodología para el diseño, desarrollo y evaluación de software educativo. Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata.

Cherry, S. (2012). Physics in Nuclear Medicine. Fourth Edition, Elsevier Saunders.

Furió, C. y col. (2005). ¿Cuál es el papel del trabajo experimental en la educación científica? En Gil Pérez D. ¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Oficina Regional de Educación de la UNESCO para América Latina y el Caribe. OREALC/UNESCO. Santiago de Chile, enero 2005.

Gil Pérez, D. (1991). ¿Qué han de saber y saber hacer los profesores de ciencias? Enseñanza de las Ciencias, 9(1), 69-77. En Gil Pérez D. ¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Oficina Regional de Educación de la UNESCO para América Latina y el Caribe. OREALC/UNESCO. Santiago de Chile, enero 2005.

Gil Pérez, D. (2005) ¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Oficina Regional de Educación de la UNESCO para América Latina y el Caribe. OREALC/UNESCO. Santiago de Chile.

Klimovsky, G. (1997). Las desventuras del conocimiento científico. A-Z Editora.

Krulik, S. y Rudnick, K. (1980). Problem solving in school mathematics. National council of teachers of mathematics; Year Book. Virginia: Reston. En Gil Pérez D. ¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Oficina Regional de Educación de la UNESCO para América Latina y el Caribe. OREALC/UNESCO. Santiago de Chile, enero 2005.

Litwin, E. (2005). Tecnologías educativas en tiempos de Internet. Amorrortu editores, Buenos Aires.

MATLAB (2017). App Building. The MathWorks, Inc.

Milkins, L. (2014). Simulation based education. Professional entry student education and training. Health Education Training Institute. NSW Government, Australia.

Miranda, A. (2010). Capítulo III. Los significados en el contexto de interacción con simulaciones en el aula, en Santos, Graciela y Stipcich, Silvia (2010). Tecnología educativa y conceptualización en física. Estudios sobre interacciones digitales, sociales y cognitivas. Consejo Editorial, UNCPBA.

Miranda, A. (2017). La interacción digital en el aula. Los procesos de significación en el uso de simulaciones computacionales en la escuela secundaria. 1a ed. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba.

Moreira, M. A. Aprendizaje significativo: Un concepto subyacente. En Moreira, M.A., Caballero, M.C. y Rodríguez, M.L. (orgs.) (1997). Actas del Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo. Burgos, España. pp. 19-44. Recuperado de <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigsubesp.pdf>

Novak, J. D. (1988). Constructivismo humano: un consenso emergente. Enseñanza de las Ciencias, 6(3), 213-223. En Gil Pérez D. ¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Oficina Regional de Educación de la UNESCO para América Latina y el Caribe. OREALC/UNESCO. Santiago de Chile, enero 2005.

Polya, G. (1980). On solving mathematical problems in high school. En Krulik, S. y Reys, R. E. (Eds.), Problem solving in school mathematics. Virginia: Reston. En Gil Pérez D. ¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Oficina Regional de Educación de la UNESCO para América Latina y el Caribe. OREALC/UNESCO. Santiago de Chile, enero 2005.

Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. y Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: towards a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227. En Gil Pérez D. ¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Oficina Regional de Educación de la UNESCO para América Latina y el Caribe. OREALC/UNESCO. Santiago de Chile, enero 2005.

Pozo, J. I. (1997). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Quinta edición, Ediciones Morata. España.

Semenov, A. (2005). *Las tecnologías de la información y la comunicación en la enseñanza*. División de Educación Superior. UNESCO.

Radon, J. (1917). "Über die Bestimmung von Funktionen durch ihre Integralwerte längs gewisser Mannigfaltigkeiten", *Berichte über die Verhandlungen der Königlich-Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Mathematisch-Physische Klasse* [Reports on the proceedings of the Royal Saxonian Academy of Sciences at Leipzig, mathematical and physical section], Leipzig: Teubner (69): 262–277; Translation: Radon, J.; Parks, P.C. (translator) (1986), "On the determination of functions from their integral values along certain manifolds", *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 5 (4): 170–176,

Santos, G. y Stipcich, S. (2010). *Tecnología educativa y conceptualización en física. Estudios sobre interacciones digitales, sociales y cognitivas*. Consejo Editorial, UNCPBA.

Velasco M. A. (2013). *Simulación clínica y enfermería, creando un ambiente de simulación*. Escuela Universitaria de Enfermería. Universidad de Cantabria.