

Contribución de la radiología digital al mejoramiento de la calidad en el servicio de imagenología

Contribution of digital radiology to improving the quality of the imaging service

Jhoan S. Contreras¹, Luis A. Jiménez- Rodríguez², Ramiro Gamboa-Suárez³

Resumen

Objetivo. El presente estudio documental evalúa las estrategias óptimas de la radiología digital (DR) en los servicios de Radiología en los hospitales de baja y mediana complejidad en Colombia. **Método.** Revisión bibliográfica exhaustiva donde se identificó los beneficios y se hizo comparación con la radiología análoga, se desarrolló basado en una muestra de 32 artículos científicos en diferentes revistas como Dialnet, SciELO, Scopus, Springer Open, IOP Science. **Resultado.** La imagen por rayos X es una tecnología poderosa y de bajo costo que se ha utilizado ampliamente en el diagnóstico médico. La importancia tecnológica de las imágenes de rayos X ha llevado al rápido desarrollo de detectores de rayos X de alto rendimiento y las aplicaciones de imágenes asociadas. Por lo tanto, los servicios de imágenes médicas proponen estrategias efectivas en la funcionalidad de la radiología digital, factores que interfieren con el proceso del sistema informático. **Conclusión.** Teniendo en cuenta los avances técnicos y fundamentales de los detectores de rayos X, el surgimiento de la radiografía computarizada (CR) (DR) ha llevado a la evolución tecnológica para la obtención de imágenes de rayos X digitales con información más precisa e instantánea, mientras que su mecanismo de lectura separado adolece de limitaciones técnicas, como una alta dosis de radiación y una imagen no dinámica, esto permite a los prestadores de servicio de imagenología se motiven a invertir en una tecnología adecuada para generar un aprovechamiento más óptimo de los recursos y el servicio sea prestado al paciente con alta calidad.

1. Tecnólogo en Radiología e Imágenes Diagnosticas. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6204-7283>

2. Ph.D. Ciencias Generales. Docente- Investigador. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Fundación de Estudios Superiores Comfanorte, Ocaña, Colombia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8656-9406>

3. Ph.D. Ciencias Generales. Docente-investigador Universidad SurColombiana, Neiva, Colombia.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5727-6409>

Correspondencia: jscontreraspa@unadvirtual.edu.co

Palabras claves: diagnóstico por imagen, captura de imágenes analógica y digital, radiografía CR y DR.

Abstract

Objective. This documentary study evaluates the optimal strategies of digital radiology (DR) in Radiology services in low and medium complexity hospitals in Colombia. **Method.** Exhaustive bibliographic review where the benefits were identified and compared with analog radiology, it was developed based on a sample of 32 scientific articles in different journals such as Dialnet, SciELO, Scopus, Springer Open, IOP Science. **Result.** X-ray imaging is a powerful and inexpensive technology that has been widely used in medical diagnosis. The technological importance of X-ray imaging has led to the rapid development of high performance X-ray detectors and associated imaging applications. Therefore, medical imaging services propose effective strategies in the functionality of digital radiology, factors that interfere with the computer system process. **Conclusion.** Taking into account the technical and fundamental advances of X-ray detectors, the emergence of computed radiography (CR) (DR) has led to technological evolution for obtaining digital X-ray images with more accurate and instantaneous information, while its separate reading mechanism suffers from technical limitations, such as high radiation dose and a non-dynamic image, this allows imaging service providers to be motivated to invest in adequate technology to generate a more optimal use of resources and the service is provided to the patient with high quality.

Keywords: diagnostic imaging, analog and digital image capture, CR and DR radiography.

Introducción

Los Sistemas de Información (SI) son una de las categorías más significativas de las tecnologías de la información y la comunicación que ha tenido la Radiología, como especialidad médica, es por un lado un nexo de unión entre otras especialidades médicas a la hora de valorar la gravedad de la en-

fermedad o la estadificación enfermedad de un paciente, por otro lado es una especialidad, que utiliza tecnologías de imágenes médicas en constante evolución, que a su vez producen enormes cantidades de datos digitales, como radiografías, mamografías, computarizadas (escaneos DR) o resonancia magnética (escaneos MRI) tomografía, angiografía digital, estudios de ultrasonido

de órganos y vasos del cuerpo e imágenes de medicina nuclear. Además, la necesidad de confidencialidad médica, protección de datos personales sensibles y demográficos y el cumplimiento de todas las organizaciones que manejan imágenes.

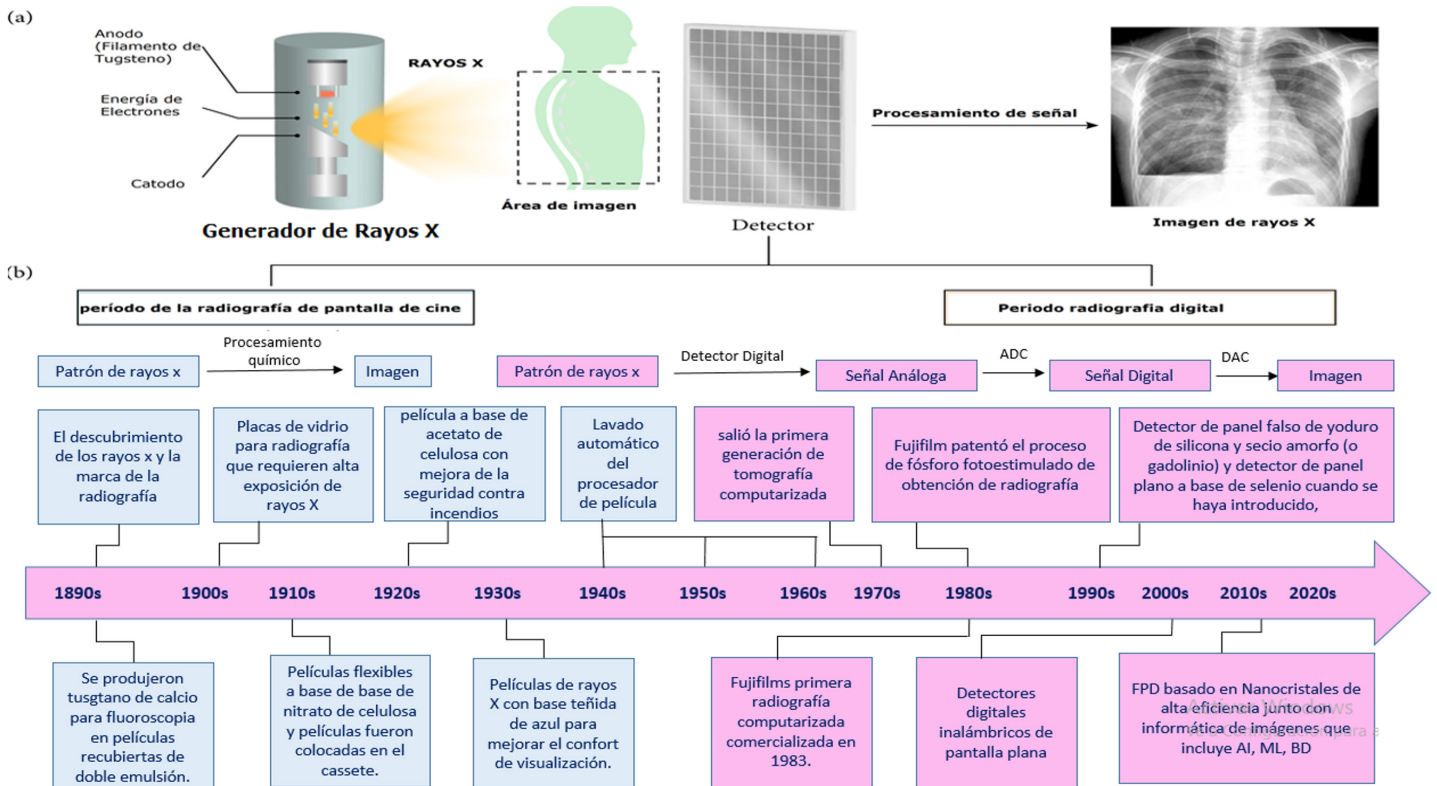
Desde los inicios de la Radiología, los rayos X son un tipo de radiación ionizante con una longitud de onda que oscila entre 0,01 y 10 nm (1). Cuando los rayos X atraviesan una materia, se transmiten, absorben o dispersan. Los procesos de dispersión y absorción dependen de la capacidad de atenuación de la materia y se rigen por la Ley de Lambert-Beer:

$$I = I_0 e^{-\mu d}$$

Donde I es la intensidad de los fotones de rayos X transmitidos, I_0 es la intensidad inicial de los fotones de rayos X, μ es el coeficiente de atenuación lineal y d es el espesor de la materia (2). La capacidad de atenuación está dominada por una combinación del efecto fotoeléctrico, la dispersión de Compton y la dispersión de Rayleigh que es resultado de la polarización eléctrica de las partículas (3). En ese sentido, sus proporciones están determinadas tanto por la naturaleza de la materia como por la energía de los rayos X incidentes (4). Por lo general, en una región de rayos X de baja energía, los fotones de rayos X son absorbidos principalmente por el objeto a través del efecto fotoeléctrico, mientras que la dispersión Compton es do-

minante en materiales de baja energía y fotones de alta energía.

Un sistema de imágenes de rayos X generalmente comprende un generador de rayos X y un detector de imágenes de rayos X (5) (ver figura 1a). El generador de rayos X está hecho de dos electrodos sellados en una cámara de vacío. Una vez encendido, el cátodo hecho de filamento de tungsteno puede producir electrones energéticos a través de un efecto termoiónico cuando se calienta a 2200 °C por la corriente eléctrica. Cuando se aplica un voltaje de aceleración, se producen rayos X durante los cambios de energía de los electrones que se mueven rápidamente cuando chocan e interactúan con el material del ánodo en el vacío. Las energías perdidas se convierten en Radiación de frenado (bremsstrahlung) y rayos X característicos. Por lo general, el 80 % de los fotones de rayos X emitidos por el generador de rayos X de diagnóstico son bremsstrahlung (6). El espectro de rayos X de salida se ve afectado por el voltaje de aceleración, el voltaje y la corriente de calentamiento del filamento y los materiales del cátodo.



(a) Ilustración esquemática de un sistema de imágenes de rayos X. El sistema consta de un generador de rayos X y un detector de rayos X con un sistema de procesamiento de señales. El haz de rayos X producido por el generador de rayos X atraviesa el objeto (p. ej., el tórax del paciente) para llegar al detector de rayos X, seguido del procesamiento de la señal para producir una imagen visible.

(b) El desarrollo de la radiografía de rayos X con la evolución de los detectores de rayos X. El desarrollo se puede dividir principalmente en radiografía de pantalla de película y radiografía digital. La radiografía de pantalla de película convierte un patrón de rayos X latente en una imagen visible a través de un tedioso procesamiento químico, mientras que la radiografía digital pasa por una serie de conversiones de señales para obtener la imagen de rayos X. ADC: conversión de analógico a digital; DAC: conversión de digital a analógico; IA: inteligencia artificial; ML: aprendizaje automático; DB: base de datos.

Figura 1. Adaptación (7) <https://bit.ly/3JuHbyG>

En esta revisión, brindamos una descripción detallada del desarrollo reciente de las tecnologías de imágenes de rayo X, incluido la radiografía de pantalla de película y la radiografía digital, de acuerdo con la evolución de los detectores de rayos X en el sistema de imágenes.

Por tal razón, la aplicación de la radiación en el campo de la salud humana, tanto para

el diagnóstico como para el tratamiento de enfermedades, es un componente importante de labor en la práctica de servicios de salud. Hoy la sustitución de la radiología convencional (impresión de películas húmedas) por la radiología digital, constituye un camino irreversible, razón por la cual es prácticamente obligatorio insertarse en este gran cambio tecnológico.

Las imágenes basadas en películas (también llamadas imágenes analógicas) requieren un procesamiento químico de la película para crear una imagen médica. Este procesamiento se realizaba inicialmente de forma manual con toda la variabilidad e inconsistencia que eso conlleva. Sin embargo, la introducción de procesadores automáticos revolucionó la consistencia de la calidad de imagen y la eficiencia de los departamentos de radiología. Si bien la gran mayoría de los exámenes radiológicos se realizan en el mundo desarrollado, la mayoría de los departamentos de rayos X en los países en desarrollo todavía están restringidos a imágenes basadas en películas, con sus limitaciones, combinadas con un procesamiento manual de películas automático o incluso ineficiente.

De acuerdo a lo anterior, durante el procesamiento de la película, la imagen latente se transforma en imagen visible. Esto es posible gracias a la transformación (de un procesador y revelador automático) de las sales de plata expuestas en plata metálica, que es de color negro. Posteriormente se procede al fijado de la imagen manifiesta y al lavado del resto de bromuro de plata que aún contiene la emulsión. El cuarto oscuro es el lugar donde se realiza la mayor parte de este proceso (8).

Por consiguiente, la situación problema para este tipo de radiología análoga, es utilizar una película para la adquisición, visualiza-

ción y almacenamiento de imágenes. Las operaciones tradicionales basadas en películas requieren el uso de productos químicos para revelar la película. Estos productos químicos requieren un manejo cuidadoso, condiciones específicas de almacenamiento y uso, instalaciones especiales de drenaje o desechos, y tienen una vida útil limitada. En un entorno con recursos limitados, el uso de productos químicos es un factor importante en la confiabilidad, la calidad y el costo. El procesamiento de película consistente requiere:

- Un rango estrictamente controlado de temperaturas de procesamiento
- Reabastecimiento químico adecuado y consistente
- El reemplazo regular de los productos químicos de procesamiento
- Lavado regular del sistema de procesamiento con agua limpia
- Sensibilidad medioambiental demostrada mediante la eliminación adecuada de residuos.

En ese sentido, se debe tener el cuarto oscuro que debe ofrecer condiciones de seguridad en el trabajo del procesamiento de la película, generando unos costos económicos y operativos altos, haciendo no el más efectivo rendimiento y un mayor impacto ambiental por su proceso.

Dentro del entramado problemático, las imágenes diagnósticas hoy en día es parte esen-

cial de la labor medica diaria, la necesidad de hacer reconocer los beneficios de contar con un sistema digital que es necesario para prestar un servicio de calidad y generar los diagnósticos acertados, las mejoras van desde la calidad de imagen, disminución en la radiación ionizante, reducción de costos. Por lo tanto, se hace casi un deber realizar estas actualizaciones de sus equipos antes de quedar totalmente rezagados. Por ende, se quiere demostrar el desaprovechamiento de los recursos que están teniendo las instituciones que aún no inician con procesos de digitalización.

Además cada vez la normativas se ajustan a la seguridad de los pacientes y los colaboradores, entendiendo que se aproxima la obligación a modificar los equipos para la disminución de la radiación en estudios imagenológicos y generar con mayor calidad las imágenes con diagnósticos más claros con el fin de ser más rápidos en la prioridad en los procesos médicos. De esta manera se propone la importancia de los beneficios de la radiología digital, de los cuales hay muchas otras razones para utilizar la tecnología digital:

1. Difusión eficiente de la información y mayor acceso a las imágenes.
2. Rango dinámico significativamente mejor de los sistemas de adquisición de imágenes digitales.
3. Fiabilidad mejorada, recuperación de imágenes sin errores y sin pérdidas.
4. Facilidad de uso.

5. Potencial para multimodalidad, imágenes compuestas.
6. Retención de información de diagnóstico dinámico.
7. Transmisión y visualización simultánea de imágenes a múltiples áreas geográficas.
8. Manipulación y procesamiento de imágenes, extracción y mejora de características.
9. Facilidad de interacción entre especialistas, p. entre radiólogos y médicos remitentes.
10. La experiencia en subespecialidades de diagnóstico por imágenes puede ser ampliamente diseminado.
11. Los estudios están disponibles para los espectadores autorizados inmediatamente después de la adquisición de la imagen.
12. Es posible la secuenciación y adaptación del examen y la integración de datos de diagnóstico.
13. Eliminación de problemas ambientales causados por imágenes basadas en películas.

Por lo tanto, el desafío para los países en desarrollo como Colombia, es encontrar una metodología que sea apropiada a su situación cultural y financiera para pasar de manera efectiva del procesamiento y almacenamiento de películas convencionales a la adquisición y visualización digital. Aunque el costo de la radiología digital se ha reducido drásticamente en las primeras décadas

del siglo XXI, sigue siendo costoso y técnicamente difícil de implementar. También trae sus propios desafíos para el apoyo rentable, la sostenibilidad técnica y la formación en las zonas periféricas del territorio nacional.

Material y método

En la recopilación de la información se realizó por medio de la búsqueda con palabras claves como lo fueron: Procesamiento de Radiología Análoga, Radiología digital, Nuevos avances de la radiología, beneficios de la radiología digital, impacto de la radiología digital, equipos digitales en imagenología. Se ordenó la información con la opción de documentos más actuales a los más antiguos de tal manera se dio prioridad a la información reciente. Esta revisión finaliza con una perspectiva sobre la dirección de desarrollo adicional de la radiografía de rayos X.

La investigación se basó en un análisis de contenido; por lo tanto, se lleva a cabo a fondo, para probar una teoría existente. Se utilizó documentos como fuente de información de las cuales consultas científicas a 32 artículos científicos: Dialnet, SciELO, Scopus, Springer, IOP Science, Google académico que permitieron consolidar un marco teórico fundamentado basado en diferentes autores. De ese modo, el análisis de contenido involucro un enfoque explícito, disciplinado, para encontrar los resultados

más apropiados con referencia a los beneficios de la Radiología digital (DR). Al respecto, el investigador generalmente explora significados e ideas en una situación dada (9, 10). Y la variedad de técnicas de recopilación y análisis de datos que se utilizan muestreo intencional (11).

1. Radiografía Análoga

Materiales de sustrato

De acuerdo a (12) la primera imagen de rayos X fue tomada por una placa radiográfica varios meses después de los rayos X descubiertos por Röntgen, donde se reflejaron claramente los huesos de los dedos y el anillo de su esposa. Aunque los detectores de rayos X basados en placas fotográficas hechos de una placa de vidrio recubierta con una capa gruesa de emulsión sensible a la luz son muy prometedores en radiografía, son frágiles, pesados, costosos y difíciles de operar y almacenar.

Película de rayos X y casete

Como se ilustra en la figura 2, el casete de rayos X tiene una caja metálica plana y resistente a la luz que consta de una pantalla intensificadora y una película radiográfica. La capa protectora superior hecha de fibra de carbono opaca casi no muestra absorción de radiación. La capa posterior del casete que utiliza una capa delgada de plomo con un número atómico de 82 está diseñada para evitar la posible radiación retro-dispersada de los rayos X transmitidos (13). La película

de rayos X consta de una capa protectora, una emulsión, un adhesivo y un sustrato de polímero. El sustrato está recubierto con

una capa gruesa de emulsión fotosensible en ambos lados para aumentar la absorción de rayos X y mitigar la borrosidad.

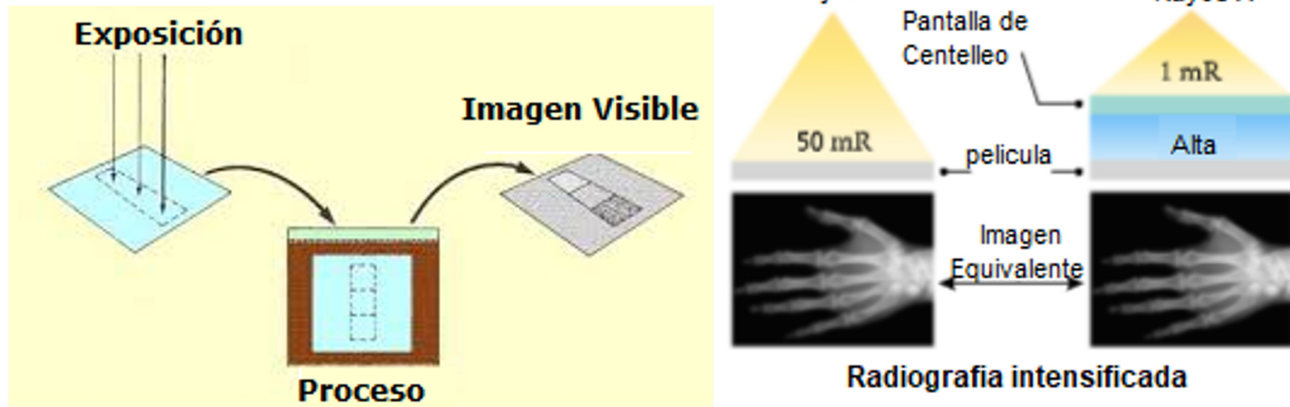


Figura 2. Película de rayos X y casete.

Procesamiento químico para la película radiográfica

El proceso químico para capturar una imagen de rayos X utilizando una película radiográfica implica la formación de una imagen latente y luego el desarrollo de una imagen de rayos X (14). Los cristales de haluro de plata tienen una estructura de fase cúbica con puntos reticulares ocupados por iones de bromuro (o yoduro) con carga negativa e iones de plata con carga positiva. Los haluros de plata absorben la energía fotónica de la luz visible o los rayos X y liberan electrones para formar pares electrón-hueco, y los electrones liberados se combinan con iones de plata en el centro fotosensible compuesto por defectos (defectos puntuales, dislocaciones, etc.) en los cristales para producir

átomos de plata neutros. Como resultado, los átomos de plata se acumulan para formar manchas fotosensibles, formando así una imagen latente.

En ese sentido, después de la exposición de la película de rayos X, se procesó químicamente para obtener una imagen visible que se puede mostrar mediante transiluminación en un cuadro de visualización apropiado para una evaluación adicional. Este procesamiento implica revelado, fijación, lavado y secado (15). Durante un proceso de revelado típico, los electrones del revelador migran a los granos sensibilizados y convierten los iones de plata en partículas de plata negra para formar una imagen visible en la película. Después de dejar la solución

reveladora, el bromuro de plata no expuesto en la película se disuelve y se elimina en la solución fijadora que contiene ácido acético y tiosulfato de sodio. Al mismo tiempo, el sulfito de sodio y el cloruro de aluminio en la solución fijadora se utilizan como conservante y endurecedor, respectivamente. Finalmente, la película procesada se lava para eliminar la solución fijadora a través de un baño de agua y se seca en una cámara en la que circula el aire caliente (16).

2. Radiografía Computarizada (Digital)

Sustitución de la radiografía en pantalla de cine por radiografía computarizada

Aunque la radiografía de pantalla de película convencional ha contribuido extraordinariamente al diagnóstico médico y la inspección industrial desde 1895, sufría de varias limitaciones, incluido el procesamiento químico complicado, la baja eficiencia del procesamiento automático, los altos costos de los materiales de la película, el tiempo y el consumo de mano de obra, el almacenamiento de imágenes y las comunicaciones inconvenientes, y contaminación ambiental (17). Con este fin, se desarrolló la radiografía digital para reemplazar la radiografía de pantalla de película. Al respecto, (18) esta nueva tecnología implica el uso de un detector digital para convertir patrones de rayos X en señales digitales que luego se procesan y muestran en la pantalla para su observación. Comprende principalmen-

te la adquisición de imágenes, la estimulación con láser, el procesamiento de señales eléctricas, la visualización de imágenes, el pos-procesamiento, el almacenamiento y los componentes de comunicación.

Proceso de lectura de imágenes de radiografía computarizada

La radiografía computarizada (Digital), introducida por primera vez por la compañía Fujifilm en 1983, es una tecnología basada en la grabación de la imagen latente en una placa de imagen que contiene fósforo foto-estimulable a través de la estimulación con luz láser (19). Un sistema de radiografía computarizada consta principalmente de dos componentes, que incluyen una placa de imagen y un lector de radiografía computarizada. En ese orden, están diseñados para almacenar la imagen latente del patrón de atenuación de rayos X en la placa de formación de imágenes y para leer la imagen latente almacenada a través del lector, respectivamente (20). En una nota aparte, el lector de radiografía computarizada (escáner de puntos, punto de vuelo del láser) consta de un conjunto de subcomponentes, como la fuente de láser estimulante, el espejo reflectante, la guía de recolección de luz y los tubos fotomultiplicadores (PMT).

Asimismo, durante un proceso de imágenes radiográficas computarizadas, un patrón de atenuación de rayos X transmitido desde el objeto se almacena en fósforos fotoestimulables incrustados en la placa de imágenes,

dejando una imagen latente (21). Luego, se puede usar un escaneo de trama láser para leer la información de imagen almacenada mediante la liberación de la luminiscencia fotoestimulada usando tubos fotomultiplicadores. A partir de entonces, las señales de luminiscencia generadas in situ se convirtieron en señales eléctricas para generar imágenes de alta calidad mediante un convertidor de analógico al digital.

La composición de la placa de imagen y la propiedad de los fósforos

En la radiografía computarizada, de acuerdo a lo señalado (22) se utiliza una placa de imagen para reemplazar la pantalla intensificadora y la película fotográfica. La capa protectora en ambos lados evita que la placa de imagen se raye, lo que garantiza la durabilidad de la placa de imagen y permite la transmisión láser. La capa de fósforos, que puede almacenar la imagen latente, está hecha de fósforos mezclados con un aglutinante polimérico. La capa electro conductora evita que la calidad de la imagen se degrade por la electricidad estática. La capa de soporte en el medio dotó a la placa de imagen de cierta resistencia mecánica. La radiación de retrodispersión es bloqueada por la capa protectora de luz con un respaldo de plomo.

Con respecto a los fósforos dentro de la placa de imágenes, existen tres requisitos previos: primero, se requiere que la emisión de los fósforos se superponga con la longitud de onda de máxima eficiencia cuántica del

fotomultiplicador; en segundo lugar, los fósforos irradiados deben exhibir una respuesta rápida al escaneo láser para obtener imágenes rápidas; tercero, no se requiere un deterioro significativo de la señal durante al menos 8 h para el uso práctico (22).

3. Radiografía basada en detector de panel plano

El origen de la radiografía digital basada en pantalla plana

Con el avance de la fotolitografía y la tecnología de fabricación microelectrónica, a principios de la década de 1990 se desarrolló la radiografía digital basada en paneles planos de área grande (23). La tecnología de radiografía digital convierte los fotones de rayos X incidentes en cargas eléctricas y lee las imágenes utilizando matrices de conversión fotoeléctrica, mostrando un tiempo de lectura más rápido que la radiografía computarizada (24). De acuerdo al autor, las imágenes de rayos X en tiempo real y de baja dosis que utilizan detectores de panel plano se han utilizado ampliamente para el diagnóstico clínico, incluidas las radiografías de tórax, las radiografías dentales, la mamografía y las radiografías de la columna lumbar. La radiografía digital también se utiliza en la inspección industrial no destructiva en línea, como el análisis de alta resolución de placas de circuitos para la medición de la porosidad de las juntas de soldadura y la detección de defectos. Además, la radio-

grafía digital se ha utilizado ampliamente en escáneres de seguridad de rayos X en estaciones de tren y aeropuertos para la detección de mercancías peligrosas y artículos prohibidos.

Evolución de la radiografía digital basada en matrices de transistores de película delgada

Por el contrario, afirma (25) los detectores de panel plano con matrices fotoeléctricas de gran área permiten la integración con una capa de conversión de energía de rayos X y una capa de lectura electrónica basada en una matriz de transistores de película delgada (TFT). A diferencia de los dispositivos de carga acoplada con sistemas de acoplamiento de lentes ópticas, el detector de rayos X de panel plano basado en TFT es capaz de lograr imágenes de rayos X en tiempo real y de baja dosis mediante el acoplamiento de una capa de transferencia de energía y matrices TFT pixeladas de área grande, haciéndose popular para aplicaciones en angiografía, radiografía y mamografía.

La diferencia en la vía de conversión de la radiación de rayos X en portadores de carga, los detectores de rayos X de panel plano se clasifican en sistemas de conversión indirecta y sistemas de conversión directa (26).

Detector de rayos X de conversión directa

El detector de panel plano de rayos X de conversión directa se fabrica depositando una capa de materiales sensibilizados con

rayos X en matrices TFT pixeladas capaces de convertir directamente fotones de rayos X en cargas eléctricas que permiten transferirse a transistores de película delgada (27). El material fotoconductor más utilizado es el selenio amorfo (α -Se) fabricado por evaporación a altas temperaturas (28). Tras la irradiación de rayos X, el α -Se puede absorber la energía de los rayos X y convertirla en portadores de carga proporcionales a los fotones de rayos X incidentes. Los pares hueco-electrón generados en el fotoconductor viajan a lo largo de las líneas de campo paralelamente con difusión lateral limitada debido al campo eléctrico aplicado en el α -Se. El electrodo de polarización positiva puede recolectar agujeros, mientras que los electrodos de recolección pueden recolectar electrones. Las cargas se almacenan en el condensador de almacenamiento y luego se leen mediante transistores de película delgada. Cada píxel está efectivamente separado por la formación de campo en la capa α -Se, lo que contribuye a una imagen de rayos X de alta calidad (29).

Detector de rayos X de conversión indirecta

El detector de rayos X de panel plano de conversión indirecta, citando a (30) está hecho de una capa de película delgada de centelleador en la parte superior para la conversión de energía de rayos X, matrices de fotodiodos de silicio amorfo pixelado (α -Si) adyacentes a los centelleadores y una matriz TFT. Cuando los rayos X irradian los detec-

tores de rayos X de panel plano, los fotones de rayos X se convierten en luminiscencia visible mediante centelleadores y, posteriormente, se convierten en cargas eléctricas mediante las matrices de fotodiodos α - Si. Eventualmente, las cargas eléctricas son registradas por una matriz TFT (31).

Por esta razón, señala (32) los centelleadores más utilizados son CsI: Tl con un espesor de 150-600 μ m y GOS dopado con terbio: Tb. Los centelleadores depositados en los detectores indirectos de rayos X de panel plano pueden ser capas de película delgada estructuradas o no estructuradas. Para los centelleadores no estructurados, como los cristales de polvo GOS: Tb (fósforos turbios), la luz emitida que viaja en los materiales puede propagarse a los píxeles vecinos, lo que da como resultado una resolución espacial reducida. Este problema podría solucionarse utilizando centelleadores de estructura, como CsI: Tl, que consisten en “agujas” discretas y paralelas con 5-10 μ m de ancho (33). En este caso, la luminiscencia excitada por rayos X solo viaja junto con el cristal fibroso hacia los fotodiodos, lo que mejora la resolución espacial, lo que hace que los centelleadores no estructurados sean superiores a los logrados por los centelleadores estructurados (34).

Tele-radiología en la práctica

La combinación de una mayor accesibilidad a Internet con la disponibilidad de imágenes de radiología digital ha dado como resultado nuevos métodos para almacenar

y distribuir imágenes médicas. En la fase Web 1.0, la mayor parte de la atención se centró en cuestiones técnicas, como la preservación de la calidad de la imagen y la accesibilidad a conexiones de gran ancho de banda para facilitar la transmisión de series de imágenes grandes y “pesadas” (34). En la fase Web 2.0 o de “redes sociales”, la mayor parte de la atención se centró en cuestiones relacionadas con la calidad de los servicios y la protección de la privacidad del paciente, principalmente en el contexto de los servicios de teleradiología. Actualmente, la Web “semántica” 3.0 está en marcha, a través del cual se pueden compartir y procesar grandes cantidades de información (big data) de manera inteligente, con una velocidad y potencia sin precedentes. En la base de esta evolución se encuentra la aparición de la computación en la nube. Gradualmente, se están ofreciendo más servicios basados en la nube para fines radiológicos, como archivado, intercambio y post-procesamiento en línea de imágenes radiológicas (35).

Los departamentos de radiología utilizan un sistema de información de Radiología (RIS) para administrar la programación, los registros de pacientes, la distribución de resultados y mucho más. Estas funcionalidades principales de RIS son las que ayudan a crear un flujo de trabajo de radiología eficiente y mucho más optimizado. Con un RIS, los radiólogos y sus equipos pueden acceder y administrar la información del paciente de manera más rápida y precisa en

comparación con las metodologías basadas en papel. Como resultado, pueden reducir los errores de entrada de datos, mejorar la eficiencia del personal y mejorar la atención al paciente.

Por consiguiente, los sistemas de información hospitalaria (HIS), sistema de información Radiológica (RIS), sistema de administración de imágenes (PACS) y software de soporte de decisiones estrechamente integrado de la tele-radiología, se encuentran entre los temas más importantes para una atención de alta calidad. Esta integración anteriormente se limitaba a las prácticas hospitalarias tradicionales, pero está pasando a primer plano en la tele-radiología. Prácticas, porque los clientes prefieren tener “interpretaciones finales”. Si uno realmente va a dar una interpretación “final” óptima, el acceso al registro médico más completo mejorará la especificidad y la precisión. Aquí hay un desafío logístico masivo para las grandes prácticas de tele-radiología. Es costoso integrar los HIS de diversos sistemas hospitalarios en una única plataforma que puedan utilizar los radiólogos. En el análisis final, es poco probable que esto se pueda hacer razonablemente sin una mayor estandarización del almacenamiento de información médica, similar a los estándares DICOM para imágenes.

El sistema de archivo y comunicación de imágenes (PACS) ha revolucionado la práctica de la radiología al cambiar el proceso

de imágenes médicas, las tecnologías de comunicación de la información, el almacenamiento y visualización de imágenes médicas e información relacionada, y el propio flujo de trabajo clínico (36). Además de estos muchos impactos, PACS tiene la capacidad de integrarse con diferentes sistemas de información de atención médica, como el Sistema de información hospitalaria (HIS), el Sistema de información de radiología (RIS), el Sistema de gestión clínica (CMS) y otros sistemas de información médica para ser más integrados y efectivos. Progresivamente, todos estos sistemas necesitan estar interrelacionados. La interrelación, en los sistemas de salud, se facilita mediante el uso de estándares de comunicación normalizados, incluidos los protocolos de comunicación HL-7 y DICOM que facilitan la interoperabilidad clínica de PACS.

4. Sistema de información de la radiología digital

El sistema de información es un instrumento informático que permite generar procesos administrativos del área de radiología, crea una comunicación de información entre el departamento de radiología y otros servicios, el sistema de información maneja grandes cantidades de información, procesos y actividades, está compuesto por un conjunto de sistemas donde cada uno cumple con una función. Con el objetivo de establecer comunicaciones entre [usuario - clínica, departamento de radiología - otros] depar-

tamentos, además almacena exámenes, permite la teleradiología (37) entre otras funciones, los componentes que constituye el sistema de información son:

HIS

“Sistema de información hospitalario” este cumple con funciones de registrar, guardar y controlar toda la información que se adquiere en los diferentes en los servicios de instituciones médicas como lo son clínicas y hospitales, por medio de usuarios que son otorgados a colaboradores seleccionados la van registrando, creando un seguimiento de cada actividad o proceso que tenga el paciente es claro que este sistema debe llevar alta complejidad en medidas de seguridad. En otras palabras, el HIS contiene toda la información de cada paciente que pase por departamentos de la institución médica como insumos, radiología, pediatría, por nombrar algunos (37).

RIS

“Sistema de información radiológico” es un software que permite registrar, manejar y controlar el flujo de información que se obtiene en el servicio de imagenología. Por medio de esta herramienta podemos realizar actividades como agendar turnos, facturar, registrar la trazabilidad de los pacientes desde su admisión, subir lecturas de los exámenes y facilitar su búsqueda (38).

PACS

Es un sistema que tiene la capacidad de almacenar imágenes radiológicas digitales

además de transmitir las y descargarlas. Este es conformado por dos elementos; software y hardware, que generan una comunicación para buscar las imágenes. Los exámenes son enviados a una estación de trabajo, para que se pueda lograr su visualización cuando sea necesario, desde el lugar que se requiera por medio de servidores “usuarios” que se le entregan al personal (39). Gracias a esta herramienta se tiene beneficios como:

- Los exámenes pueden ser observados desde diferentes lugares y en distintas fechas.
- Evita que se pierdan exámenes.
- Pueden ser editados.
- Reduce costos operacionales y costos de almacenamiento.
- Agiliza procesos entre colaborador-paciente-servicio de imagenología.
- Fácil integración al HIS.
- Información del paciente desde que entra hasta que sale del servicio.
- Confort para los pacientes.

DICOM

Es un protocolo estándar que consiste en comunicar el RIS con el PACS de esta manera solucionar la necesidad de compatibilidad entre diferentes dispositivos. En ocasiones es necesario no solo tener la imagen del examen si no también la del paciente en ese momento entra el DICOM nos genera el examen acompañado de la información del paciente y sea de esta manera interpretada de manera correcta. En si el DICOM nos relaciona

la información del paciente con el examen y nos lo proporciona en un formato que es compatible en todos los dispositivos. (40).

5. Beneficios radiología digital

Una descripción alternativa de CR como “radiografía en casete” en lugar de “computada” es una señal de los cambios tecnológicos que están ocurriendo: las tecnologías PSP ahora se están implementando en carcasas cerradas, con estimulación de haz láser paralelo de alta velocidad y adquisición de matriz de fotodiodos que lee completamente el fósforo almacenado expuesto en tan solo 5 segundos, comparable a muchos detectores DR “directos” (41). Disponibles detectores de radiografía de panel plano reportables en forma de casete, algunos con tecnología inalámbrica, que pueden proporcionar una lectura activa en el punto de servicio sin interacciones posteriores del usuario (42).

Por tanto, los desarrollos tecnológicos de los fósforos de almacenamiento incluyen compuestos con menos retraso intrínseco durante la estimulación para tiempos de lectura más rápidos, depósito de fósforo de “doble lado” en un sustrato transparente para mejorar la detección de rayos X y eficiencia de luminiscencia estimulada para una mayor relación señal-ruido (SNR) con la misma exposición y materiales “PSP estructurados” como el bromuro de cesio (CsBr) que mejoran simultáneamente la resolución espacial y la eficiencia de detección (43).

Edición de imagen

La radiología digital (DR) presta una serie de beneficios entre ellos la edición de la imagen adquiridas, una vez la imagen se encuentra en el sistema de cómputo se pueden desplegar una serie de herramientas de modificación como lo son el brillo, contraste, zoom, recortes, agregar texto, unión de imágenes y girar estas opciones colaboran en la calidad de imágenes y en la disminución de repetición de exámenes. En ese sentido, (DR) describe una multitud de sistemas de detección de rayos X digitales que procesan inmediatamente la señal de rayos X absorbida después de la exposición y producen la imagen para su visualización sin más interacción del usuario.

Como señala (44) los DR en sus detectores de conteo de fotones están actualmente configurados en geometría de escaneo de ranura, compuestos de gas a alta presión o silicio de estado sólido. Estos detectores miden eventos de fotones de rayos X absorbidos individualmente como conteos en lugar de integración de energía como todos los demás detectores. Dado que se realizará un conteo independiente de la energía del fotón, se logra una ventaja de la relación señal/ruido de hasta un 40% para el mismo número de fotones de rayos X absorbidos en el detector en comparación con los detectores de integración de energía, ya que hay no hay sesgo hacia fotones de mayor energía y es posible la eliminación de otras fuentes de ruido que acompañan a un detector integrador de energía. Según (45) una li-

mitación es la tasa de recuento máxima que se puede mantener. Asimismo otro determinaciones generales del beneficio del (DR):

Manipulación de contrastes: Los algoritmos programados permiten aumentar o disminuir su contraste esto logra una mejor visualización y ayuda a solucionar problemas infra o sobre exposición.

Rotar: esta herramienta permite solucionar de mal posicionamiento por equivocación del colaborador girando la imagen o invertirla por un mal uso del chasis error usualmente ocasionado en los tórax.

Texto: Permite al colaborador añadir textos personalizados a la imagen con el fin de hay que destacar secciones o en su defecto derecha o izquierda.

Recorte: permitir el corte o reducir el tamaño neto de una imagen seccionarla en diferentes porciones para su edición por aparte con la posibilidad de volverlas a unir.

Zoom: Podemos incrementar el tamaño de la imagen para observar una estructura en específico y así lograr un mejor detalle.

Resultados

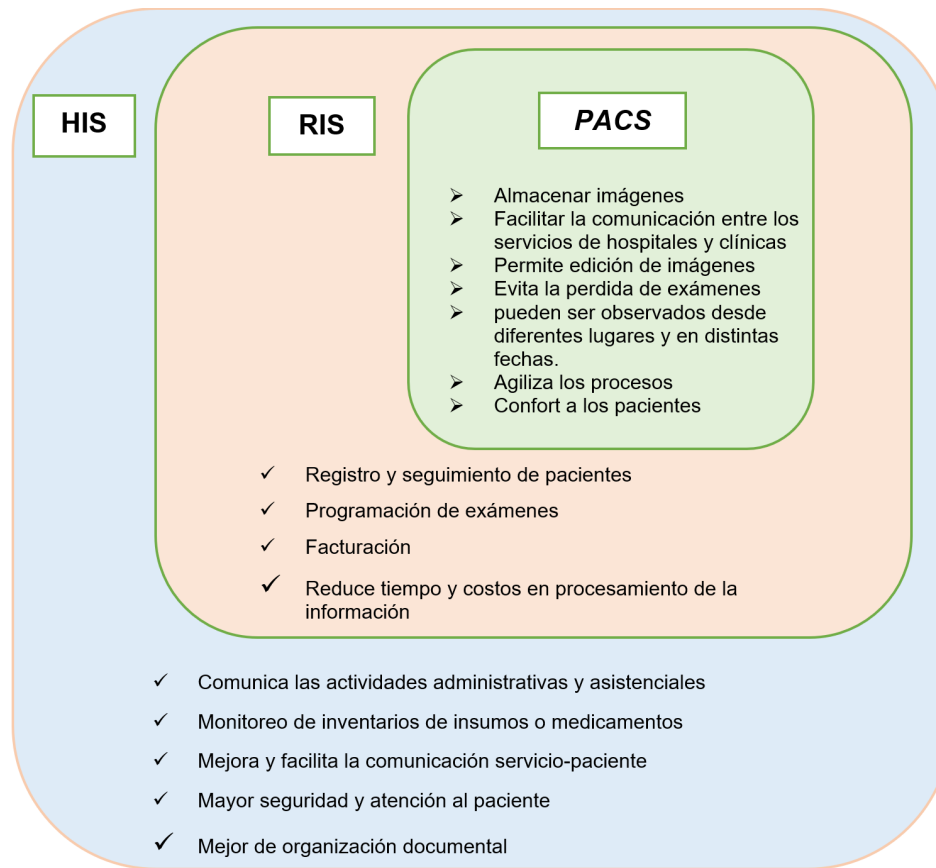
Tabla 1. Radiología digital vs radiología análoga.

	Radiología Digital	Radiología Análoga
Edición	Tiene una barra de herramientas con las cuales se pueden recortar, controlar brillo y contraste, zoom, girar entre otros	No genera la posibilidad de edición ya que una vez tomado el examen se procede a su revelado imposibilitando su edición.
Calidad de imagen	Gracias a la tecnología implementada en nuevos dispositivos y software aumentan la optimización de la imagen mejorando los parámetros de calidad por medio de la IA se generan nuevas formas de visualización.	Aunque usando las técnicas adecuadas en KV y mA su calidad es aceptable, pero no se compara con la digital, además el acierto de su técnica se complica dependiendo la contextura del paciente.
Costos	*Equipos más costosos por su tecnología *Operacionalmente genera más rentabilidad por su eficiencia permite tomar más exámenes en menor tiempo, al ser digital no son necesarios químicos de revelado ni películas optimizando recursos.	*Equipos más económicos por no necesitar elementos adicionales como CR, Computadores o Detectores. *Operacionales más costoso por su deficiencia en el uso de sus recursos, aumentando costos por el manejo de películas, químicos de revelado, demora en el proceso y entrega del examen, imposibilidad de su transmisión a otras entidades
Capacitación de colaboradores	Es necesario que sus colaboradores obtengan un conocimiento extra en el manejo de los nuevos sistemas digitales que comprende en equipos y software su capacitación debe ser mayor y constante. Además de capacitaciones en radioproteccion y atención a los pacientes	Su capacitación no debe ser tan exigente ya que su sistema de trabajo es el mismo. Se basan en capacitaciones como radioproteccion o atención a los pacientes entre otros.

	Radiología Digital	Radiología Análoga
Radiación	La radiología digital gracias a sus componentes y tecnología realiza los exámenes con menos cantidad de radiación lo cual promueve el cuidado a los pacientes y colaboradores.	Ya que las películas están hechas a base acetato de celulosa que la recubre una emulsión la cual obtiene una sustancia que es sensible a la luz como el bromuro de plata por lo que hace que su radiosensibilidad sea menor a los métodos digitales
Eficiencia	Como instituciones prestadoras de un servicio su eficiencia se mide en el uso de los recursos al digitalizar la radiología sus procesos son más rápidos por ende realizan más exámenes al día, como su calidad es mayor se reducen otros exámenes gracias a su sistema de información da la posibilidad de conectar diferentes centros médicos.	La radiología análoga debe usar más recursos como lo son químicos para la reveladora o cuarto oscuro además de la película, la producción de la placa es mucho más demorada provocando realizar menos cantidad de exámenes al día es deficiente este método
Almacenamiento y transmisión	La implementación del PACS tuvo un impacto gigante en la radiología esta herramienta permitió almacenar los exámenes y ser vistos en distintas horas, además de ponerlos enviar a diferentes sedes o instituciones médicas. De esta manera los exámenes quedan en el historial clínico, evitando su pérdida, una posible comparación en un futuro, con él envió de la imagen se puede pedir segundas opiniones, dar paso a la tele-radiología entre otros.	En la radiología análoga no es posible almacenar su imagen en un sistema de cómputo, por tal motivo la pérdida del examen es más probable lo que causaría realizar uno nuevo, además de no poder enviarlo a otras instituciones o hacer comparaciones en el futuro
Sostenibilidad	Por su procesamiento digital, disminuye contaminación ya que no usa químicos ni películas, aunque con quien se contrata el sistema de información debe tener computadoras gigantes 24 horas encendidas para poder almacenar los exámenes su efecto ambiental no es tan negativo como el uso de químicos o desechos de películas a base de fosforo que demora cientos de años en su descomposición.	Aunque los desechos químicos sean tratados de una manera controlada deben terminar depositados en lugares que pueden llegar a causar daños irreversibles, sin contar los cientos de años que se demora en descomponer las placas de acetato hechas a base de fosforo.

Tabla 2. Radiología digital CR vs radiología digital DR.

	Radiología computarizada (CR)	Radiología digital (DR)
Adaptación a equipos análogos	Es posible llegar adaptar un equipo análogo a digital CR, es necesario adquirir elementos como un escáner, sistema de información radiológico, cambio de chasis.	Aunque es posible usar un detector con un equipo convencional, no se aprovecharía al máximo su beneficio y eficiencia con un equipo adaptado totalmente.
Radiación	Al manejar a una placa de yoduro de cesio necesita de una cierta cantidad mayor de radiación que en la digitalización DR.	Maneja un panel de selenio integrado en su componente permite que los fotodiodos capten con menor radiación según (Hidalgo F) un promedio del 30% menos que en la radiología digital CR
Eficiencia	Al medir la eficiencia en la cantidad de exámenes que se pueden tomar al día el procesamiento por imagen es de promedio de 1-3 min	Al medir la eficiencia en la cantidad de exámenes que se pueden tomar al día el procesamiento por imagen es de promedio de 10-30 segundos. De tal manera que la radiología DR es más eficiente.
Calidad de imagen	La calidad de imagen se basa en usar la técnica adecuada dependiendo la textura del paciente, además cuenta con la oportunidad de editar su contraste y brillo mejora la calidad de la imagen	Gracias a su tecnología y a la implementación de unidades de procesamiento gráfico (GPU), y tarjetas de imagen su definición es mayor, además de autocorriges en casos de infra expuesta y sobreexpuesta, sin dejar de lado las herramientas de edición para concretar una imagen de alta calidad.

Figura 3. Diagrama del sistema de información de la radiología digital

Discusión

La radiología diagnóstica enfrenta desafíos especiales para demostrar un vínculo entre su resultado clave (hacer o cambiar un diagnóstico) y el paso final en la cadena de valor (mejora de la salud del paciente), debido a los muchos factores de confusión a lo largo del camino entre el diagnóstico y el diagnóstico saliente.

Tener en cuenta los problemas que sustentan el valor de la radiología no es una idea nueva. En 2009, Gunderman & Boland describieron elegantemente algunas de las

razones por las que los médicos o los pacientes podrían optar por utilizar un servicio de radiología en lugar de otro (valor relativo percibido), y algunas de las preguntas que los radiólogos podrían hacerse al considerar el valor que brindan a los pacientes (46). En 2011, Rao & Levin explicaron los beneficios basados en el valor para los pacientes de grupos de radiología únicos, cohesivos e in situ en hospitales, a diferencia de los servicios de imágenes fragmentados o subcontratados (47). También en 2011, Gazelle et al. (48) propuso un marco para evaluar el valor de las imágenes de diagnóstico en la era de la investigación de efectividad comparativa.

En 2016 Seidel *et al.* (49) describieron estrategias específicas para el diagnóstico por imagen para generar evidencia y valor.

Nadie en la práctica médica moderna podría imaginar intentar funcionar y mantener los estándares del servicio clínico en ausencia de servicios de diagnóstico por imágenes, incluida la interpretación, consulta e intervención de un radiólogo especialista. Citando a (50) la radiología es una parte esencial y profundamente arraigada de la atención moderna del paciente, en todos los niveles de prestación de servicios y complejidad, que abarca la medicina hospitalaria de alto nivel, la investigación de atención primaria, la detección y las actividades de promoción de la salud. “Pocos episodios de atención ocurren sin imágenes médicas, y un sistema de atención de la salud racional debe definir la distribución de los ingresos a la radiología en función de su valor derivado de la calidad y los costos” (51).

Por las razones expuestas, para un mayor rendimiento de atención de pacientes debido a la eficiencia del servicio de imagenología es logrado a través de una mayor automatización, tendrá un impacto en los requisitos de personal. Es improbable que los planes de trabajo específicos de la modalidad actual y la experiencia limitada de modalidad del CR y DR (cruzada) y la flexibilidad de roles sean sostenibles. A medida que avanzamos hacia cargas de trabajo de pacientes aún mayores y aumentos continuos en la demanda de imá-

genes para respaldar el diagnóstico, el tratamiento y el seguimiento de enfermedades, debemos esperar que todos los colaboradores de la unidad de negocios de radiología logren una variedad de competencias de interfaz de tecnología y modalidad. Por último, en el sistema de salud integrado y escalonado, las diversas necesidades de tecnología de imágenes para cada nivel se determinan en función de las necesidades de pruebas de imágenes, las limitaciones de recursos, las necesidades de la población y los requisitos de infraestructura (52).

Conclusiones

La tecnología de imágenes de rayos X se ha desarrollado rápidamente para diversas aplicaciones desde 1895, ofreciendo nuevas oportunidades a las comunidades científica e industrial. Teniendo en cuenta los avances técnicos y fundamentales de los detectores de rayos X, hemos resumido varios mecanismos de trabajo de rayos X que son cruciales para aplicaciones especializadas. La imagen de rayos X basada en el contraste que utiliza una pantalla de centelleo de película de pantalla es una técnica clásica que avanza en gran medida en la imagen médica no invasiva. El surgimiento de la radiografía computarizada (CR) ha llevado a la evolución tecnológica para la obtención de imágenes de rayos X digitales con información más precisa e instantánea, mientras que su mecanismo de lectura separado adolece de limitaciones técnicas, como una alta

dosis de radiación y una imagen no dinámica. Desde el estudio pionero en la década de 1990, Los detectores de rayos X de panel plano han sido los más destacados para lograr radiografías digitales en tiempo real, que se utilizan en hospitales y clínicas en lugar de la radiografía computarizada tradicional.

Los términos Radiología computarizada (CR) y radiología Digital (DR) se deberán utilizar en las instituciones de salud ya sean públicas y privadas, además, colectivamente debemos pensar más allá de las comparaciones tradicionales de CR versus DR, en las perspectivas de la unidades de negocio de radiología, los problemas de los materiales convertidores de rayos X, a la relevancia clínica, la rentabilidad, la eficiencia de la dosis, la funcionalidad de procesamiento de imágenes, en general. Calidad de imagen, uso adecuado de atributos de radiografía digital (p. ej., características de velocidad variable y valores de índice de dosis), fantomas de control de calidad y rutinas informáticas automatizadas para verificar el funcionamiento adecuado, el rendimiento del paciente, el tiempo de actividad, la confiabilidad, la longevidad, el servicio y optimización en el ámbito clínico. Por tal razón, insistir en sistemas DR que puedan autocontrolarse y verificar un rendimiento óptimo a través del análisis automatizado de imágenes fantasma de control de calidad impulsará a la al sector salud a proporcionar estas importantes herramientas.

Referencias

1. Röntgen, WC. On a new kind of rays. Science [Internet]. 1896 Feb 14;3(59):227–31. Available from: <https://science.sciencemag.org/content/3/59/227>
2. Akman F, Durak R, Turhan MF, Kaçal MR. Studies on effective atomic numbers, electron densities from mass attenuation coefficients near the K edge in some samarium compounds. Applied Radiation and Isotopes [Internet]. 2015 Jul 1; 101:107–13. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0969804315300038>
3. Kamkaew A, Chen F, Zhan Y, Majewski RL, Cai W. Scintillating Nanoparticles as Energy Mediators for Enhanced Photodynamic Therapy. ACS Nano. 2016 Apr 8;10(4):3918–35. Available from: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsnano.6b01401>
4. Zhou Y, Chen J, Bakr OM, Mohammed OF. Metal Halide Perovskites for X-ray Imaging Scintillators and Detectors. ACS Energy Letters. 2021 Jan 29;6(2):739–68. Available from: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsenerylett.0c02430>
5. Chapman HN, Nugent KA. Coherent lensless X-ray imaging. Nature Photonics. 2010 Nov 30;4(12):833–9. Available from: <https://www.nature.com/articles/nphoton.2010.240>
6. Zhou Y, Chen J, Bakr OM, Mohammed OF. Metal Halide Perovskites for X-ray Imaging Scintillators and Detectors. ACS Energy Letters. 2021 Jan 29;6(2):739–68. Available from: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsenerylett.0c02430>
7. Ou X, Chen X, Xu X, Xie L, Chen X, Hong Z, et al. Recent Development in X-Ray Imaging Technology: Future and Challenges. Research. 2021 Dec 26;2021:1–18. Available: <https://doi.org/10.34133/2021/9892152>
8. Martínez DY. Introducción a la radiología [Internet]. digitk.areandina.edu.co. Bogotá: AREANDINA. Fundación Universitaria del Área Andina; 2017. Available from: <https://digitk.areandina.edu.co/handle/areandina/1247?show=full>

9. Corbin J, Strauss A. Fundamentos de la investigación cualitativa: técnicas y procedimientos para desarrollar la teoría fundamentada (3.^a ed.). Thousand Oaks, CA: Sabio. *Métodos de Investigación Organizacional*. 2009;12(3):614-617. doi:10.1177/1094428108324514
10. Levitt H, Motulsky S, Wertz F, Morrow S, Ponterotto J. Recomendaciones para diseñar y revisar investigaciones cualitativas en psicología: promover la integridad metodológica. *Psicología cualitativa*. 2017; 4(1), 2–22. <https://psycnet.apa.org/doiLanding?doi=10.1037%2Fqap0000082>
11. Gopaldas A. A front-to-back guide to writing a qualitative research article. *Qualitative Market Research: An International Journal*. 2016 Jan 11;19(1):115–21. <https://doi.org/10.1108/QMR-08-2015-0074>
12. Howell JD. Early clinical use of the x-ray. *Transactions of the American Clinical and Climatological Association* [Internet]. 2016;127:341–9. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5216491/>
13. Haidekker M. *Tecnología de imágenes médicas*. Springer. 2013. https://cds.cern.ch/record/1519136/files/9781461470724_TOC.pdf
14. Pai S, Das IJ, Dempsey JF, Lam KL, LoSasso TJ, Olch AJ, et al. TG-69: Radiographic film for megavoltage beam dosimetry. *Medical Physics*. 2007 May 25;34(6Part1):2228–58. Available from: <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1118/1.2736779>
15. Dondelinger RM. X-Ray Film Processors. *Biomedical Instrumentation & Technology* [Internet]. 2011 Sep 17; 45(5):395–400. Available from: <https://meridian.allenpress.com/bit/article/45/5/395/142229/X-Ray-Film-Processors>
16. Haus AG, Cullinan JE. Screen film processing systems for medical radiography: a historical review. *RadioGraphics*. 1989 Nov;9(6):1203–24. Available from: <https://pubs.rsna.org/doi/abs/10.1148/radiographics.9.6.2685941>
17. Cole R, Hespel AM. *Radiografía digital. Feline Diagnostic Imaging*. 2020. 1–11, John Wiley & Sons. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781118840931.ch1>
18. Rowlands J. La física de la radiografía computarizada *Física en Medicina y Biología*. 2002; 47(23):123–166. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9155/47/23/201/meta>
19. Li S, Liu Y, Liu C, Yan D, Zhu H, Xu C, et al. Improvement of X-ray storage properties of C12A7:Tb³⁺ photo-stimulable phosphors through controlling encaged anions. *Journal of Alloys and Compounds*. 2017 Mar;696:828–35. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925838816339299>
20. Cowen AR, Davies AG, Kengyelics SM. Advances in computed radiography systems and their physical imaging characteristics. *Clinical Radiology*. 2007 Dec;62(12):1132–41. Available from: <https://bit.ly/38D6H8h>
21. Kato H, Miyahara J, Takano M. New computed radiography using scanning laser stimulated luminescence. *Neurosurgical Review*. 1985 Mar;8(1):53–62. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01744878>
22. Michail C, Valais I, Seferis I, Kalyvas N, Fountos G, Kandarakis I. Experimental measurement of a high resolution CMOS detector coupled to CsI scintillators under X-ray radiation. *Radiation Measurements*. 2015 Mar;74:39–46. <https://bit.ly/3rdB8BA>
23. Andria G, Attivissimo F, Guglielmi G, Lanzolla AML, Maiorana A, Mangiantini M. Towards patient dose optimization in digital radiography. *Measurement*. 2016; 79:331–8. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263224115004182>
24. Lee SM, Seo JB, Yun J, Cho Y-H, Vogel-Claussen J, Schiebler ML, et al. Deep Learning Applications in Chest Radiography and Computed Tomography. *Journal of Thoracic Imaging*. 2019; 34(2):75–85. Available from: <https://www.ingentaconnect.com/content/wk/jthim/2019/00000034/00000002/art00002>
25. Wang K, Ou H, Chen J. Dual-Gate Photosensitive Thin-Film Transistor-Based Active Pixel Sensor for Indirect-Conversion X-Ray Imaging. *IEEE Transactions on Electron Devices* [Internet]. 2015; 62(9):2894–9. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7175010>

26. Wu H, Ge Y, Niu G, Tang J. Metal Halide Perovskites for X-Ray Detection and Imaging. *Matter*. 2021; 4(1):144–63. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590238520306329>
27. Wei H, Fang Y, Mulligan P, Chuirazzi W, Fang H-H, Wang C, et al. Sensitive X-ray detectors made of methylammonium lead tribromide perovskite single crystals. *Nature Photonics*. 2016; 10(5):333–9. Available from: <https://www.nature.com/articles/nphoton.2016.41>
28. Huang H, Abbaszadeh S. Recent Developments of Amorphous Selenium-Based X-Ray Detectors: A Review. *IEEE Sensors Journal*. 2020 Feb 15;20(4):1694–70. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8886491>
29. Wei W, Zhang Y, Xu Q, Wei H, Fang Y, Wang Q, et al. Monolithic integration of hybrid perovskite single crystals with heterogenous substrate for highly sensitive X-ray imaging. *Nature Photonics*. 2017 Apr 17;11(5):315–21. Available from: <https://www.nature.com/articles/nphoton.2017.43>
30. Rowlands JA. Material change for X-ray detectors. *Nature* [Internet]. 2017 Oct 1;550(7674):47–8. Available from: <https://www.nature.com/articles/550047a>
31. Büchele P, Richter M, Tedde SF, Matt GJ, Anka GN, Fischer R, et al. X-ray imaging with scintillator-sensitized hybrid organic photodetectors. *Nature Photonics*. 2015 Nov 9;9(12):843–8. Available from: <https://www.nature.com/articles/nphoton.2015.216>
32. Feng ZD, Jiang P, Zhang HK et al. Evaluación del rendimiento de pantallas CsI (Tl) en varios sustratos para imágenes de rayos X, *Chinese Physics C*, 2015;. 39(7), art078202. Available from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1674-1137/39/7/078202/meta>
33. Zhao W, Ristic G, Rowlands JA. X-ray imaging performance of structured cesium iodide scintillators. *Medical Physics*. 2004 Aug 26;31(9):2594–605. Available from: <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1118/1.1782676>
34. Cao F, Yu D, Ma W, Xu X, Cai B, Yang YM, et al. Shining Emitter in a Stable Host: Design of Halide Perovskite Scintillators for X-ray Imaging from Commercial Concept. *ACS Nano*. 2019 Nov 27;14(5):5183–93. Available from: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsnano.9b06114>
35. Ranschaert ER. The Impact of Information Technology on Radiology Services: An Overview. *Journal of the Belgian Society of Radiology* [Internet]. 2016 Nov 19;100(1). Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6100536/>
36. Huang HK. Short history of PACS. Part I: USA. *European Journal of Radiology*. 2011 May;78(2):163–76. Available online at: <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2010.05.007>
37. Ferreira G. Hospital Pediátrico Eliseo “Noel” Caamaño. Matanzas Aproximación a un Sistema de Información Radiológico [Internet]. Available from: http://www.rcim.sld.cu/revista_15/articulos_pdf/siradiologico.pdf
38. Sánchez F. El RIS y su impacto en un servicio de radiología. Telerad. [Internet] 2021. Available from: <https://innovation.teleradweb.com.ar/blog/el-ris-y-su-impacto-en-un-servicio-de-radiologia>
39. Llontop F. Metodología Formativa En El Sistema Del Programa Archivo De Comunicación De Salud (Pacs) Dirigido A Los Tecnólogos Médicos Del Servicio De Emergencia, En Radiología Del Hospital Guillermo Almenara Irigoyen, Lima. Universidad José Carlos Mariátegui. [Internet] 2019. Available from: <https://bit.ly/3O26rYG>
40. Clinic I. ¿Qué es el formato DICOM? Las claves del estándar en imágenes médicas [Internet]. Clinic Cloud. 2014. Available from: <https://clinic-cloud.com/blog/formato-dicom-que-es-estandar-imagenes-medicas/>
41. Samei E, Saunders RS, Lo JY, et al. Características fundamentales de imagen de un sistema de radiografía de tórax digital de exploración de ranura. [Internet] *Appliedradiology.com*. 2018. 31: 2687-2698. Available from: <https://bit.ly/3KFe51b>
42. Seibert JA. Presentación de imágenes radiográficas digitales: métodos de preprocesamiento. En: Samei E, Flynn MJ, eds. *Plan de estudios 2003: Curso categórico de física radiológica diagnóstica - Avances en radiografía digital*. Oak Brook, IL: Sociedad Radiológica de América del Norte (RSNA); 2003; 147-151. <https://bit.ly/3KFe51b>
43. Baysal MA, Toker E. Cassette CMOS para la actualización digital de sistemas de mamografía basados en películas. *Proc SPIE*. 2006; 6142:61421Q. <https://bit.ly/3KFe51b>

44. Williams MB, Krupinski EA, Strauss KJ, et al. Calidad de imagen en radiografía digital: Adquisición de imágenes. *J Am Coll Radiol.* 2007; 4:371-388. <https://appliedradiology.com/articles/digital-radiography-evolving-technologies-definitions-and-applications>
45. Gharehaghaji N, Khezerloo D, Abbasiazar T. Evaluación de la calidad de imagen de las unidades de radiografía digital en Tabriz, Irán: un estudio fantasma. *Revista de señales y sensores médicos*, 2019; 9 (2): 137. <http://ijrr.com/article-1-3641-en.pdf>
46. Gunderman RB, Boland GWL. Value in Radiology. *Radiology.* 2009 Dec;253(3):597–9. Available from: <https://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/radiol.2533090741>
47. Rao VM, Levin DC. The Value-Added Services of Hospital-Based Radiology Groups. *Journal of the American College of Radiology.* 2011 Sep;8(9):626–30. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1546144011001335>
48. Gazelle G, Scott K, Kessler L, Lee DW, McGinn T, Menzin J, Neumann PJ, et al. A Framework for Assessing the Value of Diagnostic Imaging in the Era of Comparative Effectiveness Research. *Radiology.* 2011 Dec;261(3):692–8. Available from: <https://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/radiol.11110155>
49. Seidel D, Frank RA, Schmidt S. The Evidence Value Matrix for Diagnostic Imaging. *Journal of the American College of Radiology.* 2016 Oct;13(10):1253–9. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1546144016303210>
50. Rubin GD. Costing in Radiology and Health Care: Rationale, Relativity, Rudiments, and Realities. *Radiology.* 2017 Feb;282(2):333–47. <https://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/radiol.2016160749>
51. Gharehaghaji N, Khezerloo D, Abbasiazar T. Evaluación de la calidad de imagen de las unidades de radiografía digital en Tabriz, Irán: un estudio fantasma. *Revista de señales y sensores médicos.* 2019; 9 (2): 137. <http://ijrr.com/article-1-3641-en.pdf>
52. OMS. Niveles de servicios de salud. [Internet] 2018. Available from: <https://2018.iupesm.org/wp-content/uploads/2014/06/WHO-LevelsofHealthServices.pdf>