

**Técnicas de procesamiento de imágenes que reducen el ruido conservando la calidad
diagnóstica en radiología digital**

Edison Fernando García Rodríguez

Laura Cristina Montiel Méndez

Ligia Valentina Botia Meneses

Adrian Bernardo Mahecha Marinez

Esneider Ramírez Franco

Asesor: Víctor Julio Vargas

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias de la Salud (ECISA)

Tecnología en Radiología e Imágenes Diagnósticas

2024

Dedicatoria

Este trabajo de grado va dedicado a todas las personas que fueron nuestro apoyo emocional e incondicional; padres, hijos, pareja, incluso aquellas personas que ya no hacen parte de nuestra vida o de este mundo, pero en su momento contribuyeron con su granito de arena para darnos la motivación necesaria y así culminar nuestra meta.

Agradecimientos

Agradecemos principalmente a Dios por permitirnos llegar a la culminación de este proyecto; en segundo lugar, a los docentes que por medio de sus enseñanzas transmitieron sus conocimientos permitiéndonos estar aquí; en tercer lugar, a nuestros padres por su apoyo emocional y muchas veces económico para los diferentes procesos académicos y por último a mis compañeros. Fue un camino largo transitado con dificultades, pero con satisfacción y felicidad de culminar esta meta.

Resumen

Este documento es el resultado del proceso de revisión sobre radiología digital específicamente algoritmos que ayudan a minimizar el ruido en las imágenes diagnósticas, permitiendo que el diagnóstico médico, sea efectivo gracias a la calidad de las imágenes que permiten una mejor visualización de estructuras anatómicas complejas. Uno de los principales desafíos técnicos, que persisten en este campo es la presencia de ruido en las imágenes, el cual puede degradar la calidad visual y comprometer la precisión diagnóstica. Para ello se realizó una revisión literaria con un enfoque cualitativo. Desarrollado en cuatro fases, que incluyeron la revisión literaria, y análisis documental para finalmente generar un comparativo de la efectividad de los algoritmos en la reducción del ruido en radiología digital. Las conclusiones subrayan que la elección del algoritmo depende del tipo de ruido predominante y de las características diagnósticas que se quieran preservar.

Palabras Clave: algoritmo, ruido en las imágenes, radiología

Abstract

This document is the result of the review process on digital radiology, specifically algorithms that help minimize noise in diagnostic images, allowing medical diagnosis to be effective thanks to the quality of the images that allow better visualization of complex anatomical structures. One of the main technical challenges that persist in this field is the presence of noise in the images, which can degrade visual quality and compromise diagnostic accuracy. For this purpose, a literary review was carried out with a qualitative approach. Developed in four phases, which included the literary review and documentary analysis to finally generate a comparison of the effectiveness of the algorithms in noise reduction in digital radiology. The conclusions emphasize that the choice of the algorithm depends on the type of predominant noise and the diagnostic characteristics that need to be preserved.

Keywords: algorithm, noise in images, radiology

Tabla de Contenido

Introducción	11
Planteamiento del Problema.....	13
Justificación.....	15
Objetivos	17
Objetivo General	17
Objetivos Específicos	17
Marco Teórico.....	18
Descubrimiento de los Rayos X y su Importancia en la Radiología	18
Pantalla/Película en Radiografía Convencional	19
Digitalización de Imágenes	20
Tomografía Computarizada (TC).....	22
Resonancia Magnética (RM).....	23
Detectores Digitales y Panel Plano.....	24
Rayos X y Tubo de Coolidge	25
Rejilla Potter-Bucky	27
Radiografía Digital (DR).....	28
Dispersión e Ionización	29
Colimación y Protección Radiológica	30

Sobreexposición y Calidad de Imagen	31
Visualización y Conversión de Energía	32
<i>Conversión de energía y Eficiencia</i>	33
Metodología	35
Enfoque y tipo de investigación	35
<i>Fases y actividades</i>	35
<i>Criterios de Inclusión</i>	35
<i>Criterios de Exclusión</i>	36
Análisis de Algoritmos de Procesamiento de Imágenes.....	36
Evaluación de Desafíos y Limitaciones	36
Redacción y Síntesis de Resultados	36
Desarrollo del proyecto	37
Sobre los Algoritmos Basados en Inteligencia Artificial en la Reducción del Ruido en Radiología Digital	37
Sobre los Desafíos y/o Limitaciones Actuales en la Implementación de Algoritmos de Reducción de Ruido en Radiología Digital	38
<i>Filtro de Mediana</i>	38
<i>Filtro Gaussiano</i>	38
<i>Transformada Wavelet</i>	39
<i>Denoising Autoencoders (DAEs)</i>	39

<i>Filtro Bilateral</i>	39
<i>Non-Local Means (NLM)</i>	39
Conclusiones	40
Referencias	41

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Comparación de Efectividad en Radiología Digital</i>	38
--	-----------

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Línea de Funcionamiento de un Sistema de Exposición Automática.</i>	22
Figura 2 <i>Tecnología de un Sensor Plano de Conversión Indirecta</i>	25
Figura 3 <i>Principio Elemental de un Tubo de Coolidge.</i>	26
Figura 4 <i>Grilla Antidifusora y Eliminación de la Radiación Dispersa.</i>	28
Figura 5 <i>Origen de la Radiación Dispersa.</i>	30
Figura 6 <i>Influencia de la Tensión y de la Carga Sobre el Contraste, Sobre la Dosis Administrada y Sobre el Ennegrecimiento de una Película Análoga</i>	32

Introducción

La radiología convencional, durante años ha facilitado la toma de decisiones por tratarse de una herramienta de ayuda diagnóstica, sin embargo, con la incorporación de nuevas tecnologías este tipo de radiología presenta limitaciones, “las películas en radiología convencional deben ser reveladas lo que supone un retraso diagnóstico que puede ser un problema en diferentes técnicas vasculares y de sustracción de imágenes” (Alcaraz Baños, La Imagen Digital, s.f, pág. 2). Dichas limitaciones pueden resolverse mediante la incorporación de nuevas tecnologías que gracias a la inteligencia artificial utilizan técnicas basadas en la transformación de las imágenes analógicas convencionales en imágenes digitales que permitirá procesar, expresar o exponer los datos de forma que se considere adecuados o incluso que se asemejen a la imagen convencional evitando ruidos, por ende, es necesario migrar a técnicas digitales para la obtención y posterior manipulación de las imágenes radiológicas.

La radiología digital ofrece una serie de ventajas entre las que se pueden mencionar la reconstrucción y/o recomposición de las imágenes permitiendo incluso la presentación en tres dimensiones, además, del tratamiento de la imagen con procedimientos matemáticos, la incorporación de filtros, y la posibilidad de zoom para acercamiento, cambios en amplitud y altura de ventanas, brillos y contrastes; permite la cuantificación del valor de densidad en cada pixel con lo que se puede calcular las diferencias de densidad radiológica de los tejidos atravesados esta posibilidad constituye la base de la densitometría ósea (Alcaraz Baños, La Imagen Digital, s.f).

Existe la posibilidad que las tecnologías y la inteligencia artificial sean altamente efectivas, y ese porcentaje depende en gran parte de los algoritmos y la cantidad de datos que se estudien y comparen, del conjunto de datos representativos y etiquetados sean limitados. “Lo que

también implica una alta variabilidad en poder determinar cuándo hay una captura de artefactos sutiles y variados con una gama de patologías clínicas y sus variables sea efectiva en el caso de reconocer y ser precisos” (Narváez Pereira, Herrera Rojas, & Ladino Gutiérrez, 2024, pág. 12).

Al igual que la radiología convencional, la digital puede presentar algunas dificultades, puesto que existen factores que tienden a producir variaciones en el brillo de una imagen. Como lo menciona, Mateu Villa & Sánchez Yáñez (2017):

Esta variación es usualmente aleatoria y no sigue un patrón particular; en muchos casos reduce la calidad de la imagen y es especialmente significativa cuando los objetos de la imagen son pequeños y tienen relativamente un contraste bajo. A esta variación se le conoce como ruido. (pág. 2531)

En ese sentido se puede entender el ruido como la perturbación que sufre una señal en cualquiera de los procesos (adquisición, transmisión y almacenamiento) en el que se generan las imágenes digitales, dicha variación no tiene correspondencia con la realidad, del brillo o el color producido por el dispositivo de entrada, en realidad es “un defecto de la información que contamina o degrada a la imagen, manifestándose generalmente en píxeles aislados que toman valores distintos a los reales” (Mateu Villa & Sánchez Yáñez, 2017, pág. 2532).

Planteamiento del Problema

La radiología digital se convirtió en una herramienta transformadora del diagnóstico médico facilitando la toma de imágenes de alta calidad que permiten una mejor visualización de estructuras anatómicas complejas. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, uno de los principales desafíos técnicos, que persisten en este campo es la presencia de ruido en las imágenes, el cual puede degradar la calidad visual y comprometer la precisión diagnóstica.

El ruido, derivado de las características intrínsecas de los detectores y el procesamiento digital, afecta la relación señal-ruido (SNR) y la capacidad de los profesionales de la salud para identificar patrones patológicos con claridad. A medida que la tecnología avanza, se han desarrollado diversos algoritmos de procesamiento de imágenes que buscan reducir este ruido sin comprometer la resolución de contraste ni la calidad general de la imagen.

A pesar de estos avances, el problema central radica en la falta de consenso sobre cuáles de estas técnicas de procesamiento son más efectivas para la reducción del ruido en diferentes modalidades de radiología digital.

La revisión teórica de la literatura existente muestra que aunque hay avances significativos en este campo, las comparaciones entre los métodos actuales y su impacto en la calidad diagnóstica no han sido suficientemente exploradas. Esto abre una brecha en el conocimiento que requiere ser abordada de manera crítica y sistemática.

El uso de algoritmos tradicionales, como los filtros de paso bajo, y técnicas más recientes basadas en inteligencia artificial (IA) plantea un reto adicional: equilibrar la reducción del ruido con la preservación de detalles críticos en la imagen.

El artículo busca responder a la pregunta: **¿Cómo contribuyen las técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes a la reducción del ruido sin comprometer la calidad diagnóstica en radiología digital?**

Para ello, se realizará una revisión teórica de las diferentes tecnologías y algoritmos aplicados al procesamiento de imágenes radiológicas. Dando cuenta de los desafíos y/o limitaciones actuales en la implementación de algoritmos de reducción de ruido mencionando los aquellos algoritmos que contribuyen en la reducción del ruido, en radiología digital.

Justificación

Es una situación real el hecho de que la calidad de las imágenes obtenidas en radiología digital se ve afectada por el ruido, un fenómeno que puede degradar significativamente el valor diagnóstico de las imágenes. A medida que los sistemas de radiografía digital avanzan, la necesidad de implementar algoritmos eficientes para reducir este ruido se vuelve imperativa. Sin embargo, persiste una brecha en la comprensión exhaustiva de la efectividad de diferentes algoritmos, especialmente con el creciente uso de la inteligencia artificial (IA) frente a los métodos tradicionales de procesamiento.

Esta investigación es necesaria para comparar las técnicas existentes y proponer mejoras en su aplicación clínica, garantizando que las imágenes mantengan una alta calidad diagnóstica sin comprometer la eficiencia operativa. Además, es fundamental proporcionar a la comunidad científica y médica una guía teórica sobre cuáles son las técnicas más efectivas en la reducción del ruido para diversas modalidades radiológicas.

El aporte de esta investigación es valioso tanto en términos sociales como prácticos. Los principales beneficiarios serán los profesionales de la salud que trabajan en el campo del diagnóstico por imágenes, ya que tendrán acceso a información actualizada y basada en evidencia sobre los mejores métodos para optimizar la calidad de las imágenes radiológicas. A nivel teórico, este estudio fortalecerá el conocimiento en torno al uso de algoritmos en radiología digital y servirá de base para futuras investigaciones sobre su mejora. A nivel práctico, los radiólogos podrán aplicar los hallazgos de este artículo para mejorar la precisión diagnóstica y reducir la necesidad de repeticiones de exámenes, lo que disminuirá tanto la exposición a radiación para los pacientes como los costos asociados al proceso.

Para el desarrollo se llevó a cabo la revisión teórica y bibliográfica de artículos indexados en bases de datos académicas como PubMed, Scopus y Web of Science. Los recursos necesarios, como acceso a plataformas científicas, herramientas de gestión bibliográfica (Mendeley, Zotero) y el soporte institucional, están disponibles. Además, la revisión de literatura es un método viable que no requiere costos adicionales significativos ni equipamiento especializado, lo que garantizó que la investigación se pueda llevar a cabo en el tiempo previsto.

Objetivos

Objetivo General

Comparar los principales algoritmos para la reducción del ruido en el procesamiento de imagen y su efectividad en la preservación de la calidad diagnóstica utilizados en radiología digital

Objetivos Específicos

Mencionar los algoritmos basados en inteligencia artificial en la reducción del ruido en radiología digital.

Listar los desafíos y/o limitaciones actuales en la implementación de algoritmos de reducción de ruido en radiología digital.

Marco Teórico

Descubrimiento de los Rayos X y su Importancia en la Radiología

El descubrimiento de los rayos X por Wilhelm Conrad Roentgen en 1895 marcó un hito en la historia de la medicina, ya que permitió la creación de imágenes del cuerpo humano sin necesidad de intervenciones quirúrgicas invasivas. Este tipo de radiación electromagnética tiene la capacidad de atravesar diferentes materiales, incluido el cuerpo humano, gracias a su longitud de onda corta y a su interacción diferencial con los tejidos, según su densidad. Esta propiedad física es clave en la formación de imágenes diagnósticas, ya que los rayos X son absorbidos en mayor o menor medida dependiendo de la composición y densidad de los tejidos (Busch, 2016). Así, este descubrimiento no solo revolucionó la medicina diagnóstica, sino que también sentó las bases para el desarrollo de la radiología moderna. Posteriormente, los avances tecnológicos, como el perfeccionamiento del tubo de rayos X por William Coolidge en 1913, optimizaron su aplicación, permitiendo un control más preciso sobre la intensidad y energía de la radiación, lo que ha sido fundamental en la evolución de la radiografía como herramienta diagnóstica. (Narváez Pereira, Herrera Rojas, & Ladino Gutiérrez, 2024)

Los rayos X, una forma de radiación electromagnética con longitudes de onda entre 5 picómetros y 10 nanómetros, tienen la capacidad de penetrar la materia y generar imágenes al interactuar con tejidos de diferentes densidades. Los principios físicos detrás de la formación de estas imágenes se basan en fenómenos como el efecto fotoeléctrico y el efecto Compton, que son fundamentales para la atenuación de los rayos X y la creación de la imagen diagnóstica. Tradicionalmente, la radiología utilizaba la tecnología de pantalla-película, en la que los rayos X impresionaban una película fotosensible que actuaba como detector y visualizador. Sin embargo,

este sistema presentaba limitaciones en cuanto a la latitud de exposición y el contraste, lo que restringía la capacidad de obtener detalles finos.

Con la digitalización, se ha logrado superar estas limitaciones, permitiendo un procesamiento de la imagen más ajustable y flexible para mejorar la calidad diagnóstica. La radiación ionizante, como los rayos X, es capaz de expulsar electrones de los átomos, generando pares iónicos, lo que resulta crítico en la generación de imágenes. Este proceso de ionización, junto con la capacidad de los rayos X para ser absorbidos o dispersados dependiendo de la densidad de los tejidos, permite diferenciar estructuras internas del cuerpo humano, sentando así las bases tecnológicas para la radiología moderna (Heriberto, 2008).

Pantalla/Película en Radiografía Convencional

Durante casi un siglo, la tecnología utilizada para capturar imágenes radiológicas se basaba en el sistema de pantalla/película. Este método empleaba pantallas intensificadoras, hechas de materiales fluorescentes, que convertían los rayos X en luz visible (Alcaraz Baños, s.f). Esta luz impresionaba una película fotosensible, la cual registraba la imagen en distintos niveles de gris según la densidad de los tejidos atravesados por los rayos X. Las áreas más densas, como los huesos, bloqueaban más radiación, generando una imagen con diferentes tonalidades de gris que representaban las variaciones en la absorción de la radiación por los tejidos. Este proceso, aunque eficiente en su momento, tenía limitaciones importantes en cuanto a la calidad de la imagen, la sensibilidad y el tiempo de procesamiento.

Las pantallas intensificadoras mejoraban la eficiencia del sistema al reducir la cantidad de radiación necesaria para obtener una imagen diagnóstica, disminuyendo la dosis en más del 95%. Sin embargo, la película radiográfica poseía un rango dinámico limitado, lo que impedía una adecuada representación de todas las diferencias de exposición a los rayos X en la imagen final.

La relación entre la dosis de radiación y la densidad óptica de la imagen estaba determinada por la curva característica de la película, la cual influía directamente en el contraste y la calidad de las imágenes radiológicas obtenidas. Aunque este método fue revolucionario en su época, la llegada de la digitalización permitió superar estas limitaciones, ofreciendo un procesamiento de imágenes más flexible y adaptable a las necesidades diagnósticas actuales.

Digitalización de Imágenes

Con el avance de la tecnología, la radiología ha experimentado una transformación significativa con la introducción de sistemas digitales, mejorando la precisión diagnóstica y la gestión de las imágenes. La digitalización eliminó la necesidad de película física, permitiendo la adquisición, procesamiento y almacenamiento de imágenes de manera más eficiente. En lugar de utilizar películas, los detectores digitales, como los de panel plano, capturan directamente las imágenes en formato digital.

Alcaraz Baños (s.f) lo define como:

Un procedimiento sencillo para digitalizar la imagen radiológica consiste en la lectura secuencial punto a punto de la imagen radiográfica pasando un haz de láser por cada cuadrado de la matriz en que dividimos la radiografía, detectando su oscurecimiento y guardándolo en el ordenador. Este procedimiento tiene el inconveniente de que precisa primero de la imagen convencional, película con todas sus limitaciones y por muy sofisticado que sea el digitalizador nunca podrá sacar más información de la que en realidad contiene la película. La única ventaja es que permite digitalizar nuestras imágenes de archivo tomadas en película convencional obtenidas durante todos los años de trabajo anteriores. (pág. 5)

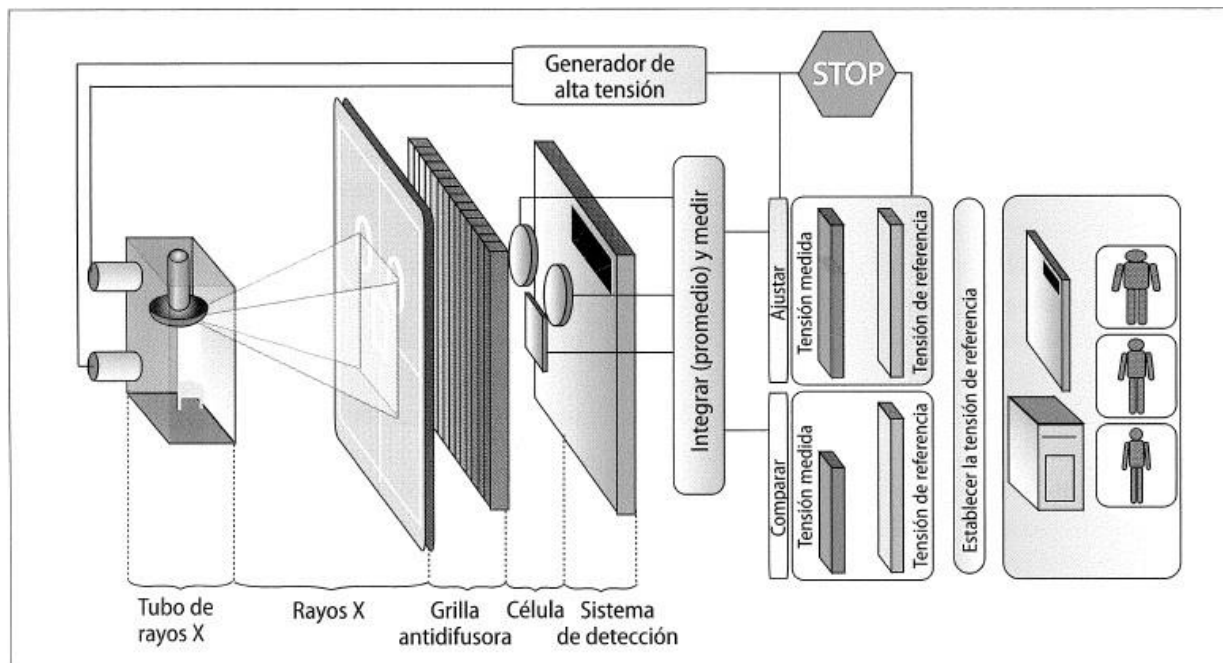
Estos detectores trabajan bajo dos principios: conversión directa, donde los rayos X se transforman directamente en señales eléctricas, y conversión indirecta, en la cual los rayos X se convierten primero en luz antes de generar la señal eléctrica.

La radiografía digital (DR) ofrece ventajas significativas respecto a la radiografía convencional. A diferencia del sistema de pantalla/película, los sistemas digitales proporcionan un mayor rango dinámico, lo que permite una representación más precisa y detallada de las estructuras anatómicas. Además, estos sistemas reducen la exposición a la radiación y permiten un procesamiento más rápido de las imágenes, lo que mejora la eficiencia del diagnóstico.

Este cambio hacia la digitalización no solo permitió una mayor flexibilidad en el manejo de las imágenes, sino que también impulsó avances como la radiología computarizada (CR) y la angiografía de sustracción digital (DSA), que ampliaron aún más las posibilidades diagnósticas gracias a la tecnología digital. La capacidad de procesar y ajustar las imágenes en tiempo real, junto con la posibilidad de reducir la dosis de radiación al paciente, ha hecho de la radiografía digital una herramienta esencial en el diagnóstico moderno.

Figura 1

Línea de Funcionamiento de un Sistema de Exposición Automática



Nota. Adaptada de Diagnóstico por imágenes. Manual de técnicos radiólogos. Ediciones Journal.

Tomografía Computarizada (TC)

La tomografía computarizada (TC) ha representado un avance trascendental en la tecnología de imágenes radiológicas al permitir una visualización precisa y detallada de las estructuras internas del cuerpo. Este método utiliza un haz de rayos X que gira alrededor del paciente, capturando múltiples imágenes desde diferentes ángulos. Los datos obtenidos se procesan mediante algoritmos matemáticos avanzados para generar cortes transversales, que luego se integran en reconstrucciones tridimensionales. La capacidad de obtener imágenes en 3D ha mejorado significativamente el diagnóstico de patologías complejas, superando las limitaciones de la radiografía convencional.

El principio de la TC se basa en la atenuación diferencial de los rayos X al atravesar tejidos de diversas densidades. Los detectores digitales registran la radiación que pasa a través del cuerpo y convierten esta información en señales electrónicas, permitiendo su procesamiento

inmediato. A diferencia del sistema analógico de película, la TC ofrece un rango dinámico superior, lo que permite capturar una mayor variación en la absorción de los tejidos y mejorar el contraste de las imágenes. Además, la curva característica de los detectores digitales de TC mantiene una relación lineal en un amplio rango de exposiciones, garantizando imágenes de alta resolución espacial y latitud (Calzado & Geleijns, 2010). La Tomografía computarizada ha demostrado ser esencial en la radiología moderna por su capacidad de reducir la radiación dispersa y mejorar la calidad diagnóstica. Gracias a su precisión y rapidez, esta técnica es fundamental para el estudio detallado de patologías complejas y ha transformado la práctica radiológica, ofreciendo imágenes tridimensionales con mayor sensibilidad y especificidad que las obtenidas mediante radiografías convencionales.

Resonancia Magnética (RM)

La resonancia magnética (RM) representa un avance significativo en el diagnóstico por imagen al ofrecer imágenes detalladas de tejidos blandos sin el uso de radiación ionizante, lo que la convierte en una opción segura para estudios repetitivos. A diferencia de los rayos X y la tomografía computarizada (TC), la RM se basa en la interacción de los protones del cuerpo humano con campos magnéticos potentes y pulsos de radiofrecuencia. Este proceso excita los protones presentes principalmente en las moléculas de agua del cuerpo, lo que genera señales que son capturadas y procesadas por computadoras avanzadas para formar imágenes precisas y detalladas.

La RM es especialmente útil para la evaluación de tejidos blandos como el cerebro, músculos, ligamentos y órganos internos, superando en muchos casos la capacidad diagnóstica de los rayos X y la TC en áreas como neurología, ortopedia y oncología. Los principios de esta técnica derivan de la física cuántica, ya que dependen de la alineación y posterior relajación de

los núcleos de hidrógeno bajo la influencia de un campo magnético. La capacidad de la RM para generar imágenes de alta resolución y excelente contraste sin los riesgos asociados a la exposición a radiación ionizante ha consolidado su uso en la radiología moderna como un método fundamental en el diagnóstico por imagen (Caicedo Martínez, Aldana Ramírez, & Hernández Suarez, 2009).

Detectores Digitales y Panel Plano

La transición de sistemas analógicos a detectores digitales ha marcado un hito en la radiología diagnóstica, optimizando tanto la eficiencia como la calidad de las imágenes. Los detectores digitales permiten la conversión de la radiación en señales electrónicas mediante dos métodos: conversión directa e indirecta. En la conversión directa, la radiación es transformada directamente en carga eléctrica mediante materiales como el selenio amorfo, mientras que en la conversión indirecta, la radiación primero se convierte en luz, que luego es detectada como señal eléctrica mediante paneles de silicio amorfo.

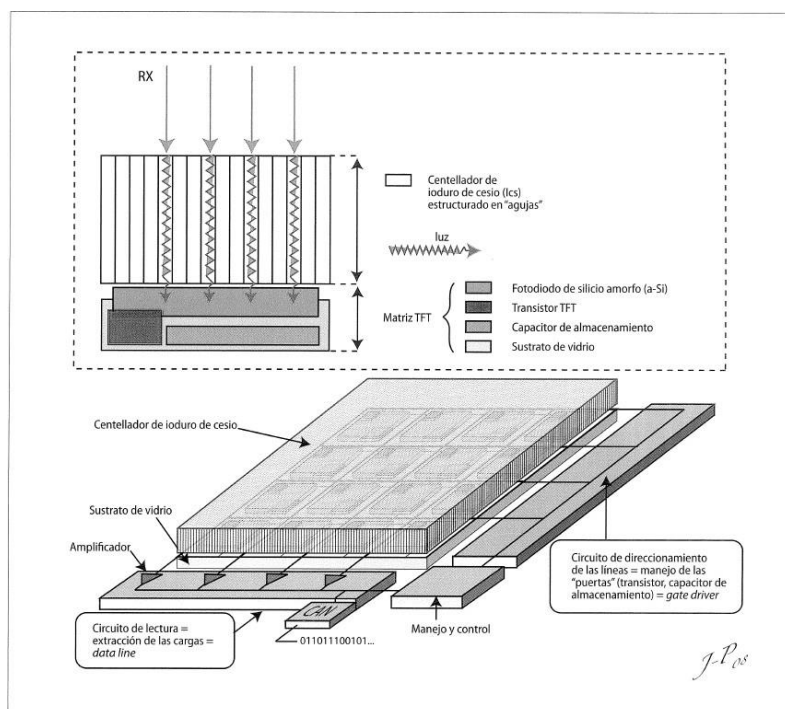
Los paneles planos se han consolidado como la tecnología de referencia en la radiografía digital por su capacidad para capturar imágenes de alta resolución y mejorar el procesamiento en tiempo real. Estos detectores, equipados con matrices activas de transistores de película delgada (TFT), eliminan la necesidad de procesos intermedios de revelado, permitiendo un flujo de trabajo más eficiente. Además, ofrecen una elevada eficiencia de detección cuántica (DQE), lo que garantiza una mayor calidad de imagen con una menor dosis de radiación para el paciente, optimizando la seguridad y el diagnóstico.

El uso de detectores digitales ha mejorado significativamente cada etapa del proceso radiológico, desde la adquisición y almacenamiento hasta el procesamiento y la visualización de imágenes. Su capacidad para optimizar la resolución espacial y reducir el ruido ha contribuido a

una mayor precisión diagnóstica. Esta tecnología ha permitido una separación clara entre los procesos de captura y manejo de las imágenes, facilitando el análisis independiente de cada fase y potenciando el rendimiento clínico.

Figura 2

Tecnología de un Sensor Plano de Conversión Indirecta



Nota. Adaptada de Diagnóstico por imágenes. Manual de técnicos radiólogos. Ediciones Journal.

Rayos X y Tubo de Coolidge

El tubo de Coolidge, introducido en 1913 por William David Coolidge, representó un avance revolucionario en la generación de rayos X y sentó las bases de la tecnología utilizada en los sistemas de radiodiagnóstico modernos. Este dispositivo funciona mediante la emisión termoiónica de electrones desde un cátodo de filamento calentado, los cuales son acelerados en un entorno de vacío hacia un ánodo, generalmente de tungsteno. La interacción de los electrones con el ánodo genera rayos X con alta energía, adecuados para atravesar los tejidos del cuerpo humano y formar imágenes diagnósticas precisas. La capacidad de controlar de manera precisa la

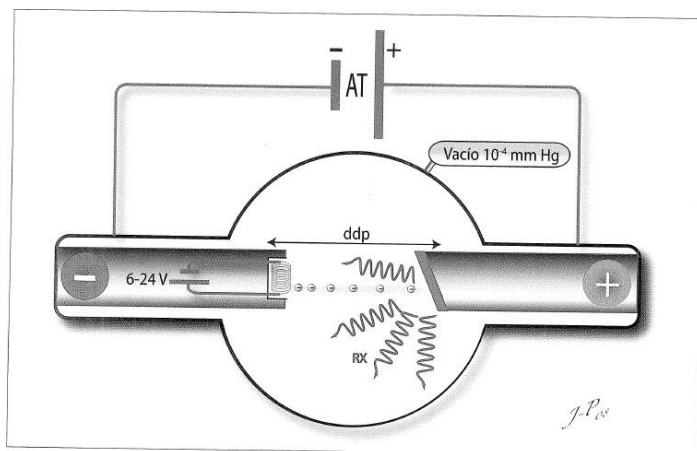
intensidad y la energía del haz de rayos X mejoró significativamente la calidad de las imágenes y la seguridad del proceso radiológico.

Una de las innovaciones fundamentales del tubo de Coolidge es la posibilidad de ajustar el flujo de electrones mediante la modulación de la corriente en el cátodo y la diferencia de potencial aplicada entre el cátodo y el ánodo. Esto permitió un control más eficiente sobre la dosis de radiación y la calidad de la imagen obtenida, optimizando la práctica clínica. A este avance se sumó, en 1921, la introducción de la rejilla Potter-Bucky, diseñada para reducir la radiación dispersa que degrada la imagen, mejorando así el contraste radiográfico y la precisión diagnóstica.

El diseño del tubo de Coolidge, basado en principios físicos sólidos, no solo marcó un hito en el desarrollo tecnológico de la radiología, sino que ha demostrado ser una solución eficiente y duradera, manteniéndose en uso hasta la actualidad. Su capacidad para generar rayos X de manera controlada sigue siendo fundamental en una amplia gama de procedimientos radiológicos, garantizando imágenes de alta calidad con menor ruido y una exposición optimizada para el paciente.

Figura 3

Principio Elemental de un Tubo de Coolidge.



Nota. Adaptada de Diagnóstico por imágenes. Manual de técnicos radiólogos. Ediciones Journal.

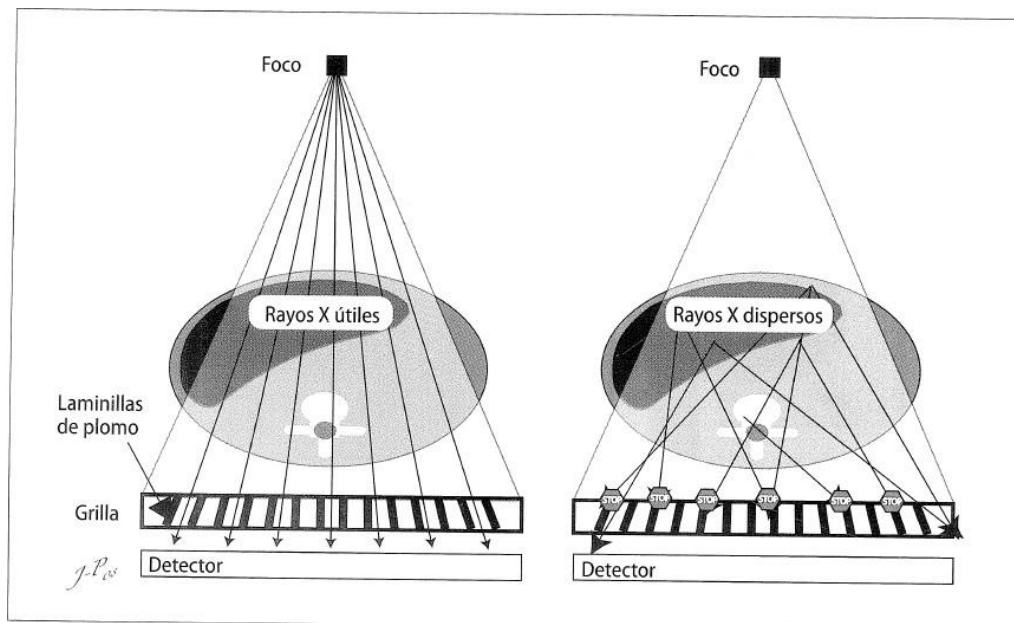
Rejilla Potter-Bucky

La rejilla Potter-Bucky es un componente esencial en la radiografía moderna, diseñado para mejorar la calidad de la imagen al reducir el efecto de la radiación dispersa que llega al detector. Este dispositivo se coloca entre el paciente y el detector y está compuesto por finas láminas de plomo paralelas, que permiten el paso de los rayos X primarios, aquellos que viajan en línea recta desde la fuente, mientras absorben la radiación dispersa originada en el cuerpo del paciente. La dispersión es un fenómeno que puede degradar la imagen al añadir ruido y disminuir el contraste, afectando la precisión diagnóstica.

El uso de la rejilla Potter-Bucky mejora significativamente el contraste de las imágenes radiológicas, permitiendo una visualización más clara y precisa de las estructuras anatómicas. Al bloquear los rayos dispersos, se optimiza la calidad de la imagen al destacar las diferencias en densidad de los tejidos, lo que resulta fundamental en el diagnóstico médico. Esta tecnología sigue siendo un componente clave en los sistemas de radiografía, asegurando imágenes de alta calidad y confiables para la toma de decisiones clínicas.

Figura 4

Grilla anti Difusora y Eliminación de la Radiación Dispersa



Nota. Adaptada de Diagnóstico por imágenes. Manual de técnicos radiólogos. Ediciones Journal.

Radiografía Digital (DR)

La radiografía digital (DR) es una tecnología avanzada que ha reemplazado a los sistemas analógicos al capturar las imágenes radiográficas directamente en formato digital, eliminando la necesidad de película y los procesos químicos de revelado. Esta evolución ha permitido un flujo de trabajo más rápido, una reducción en la exposición del paciente a la radiación y una mayor capacidad de pos-procesamiento para optimizar las imágenes con fines diagnósticos. Además, la DR facilita el almacenamiento y distribución de las imágenes a través de sistemas PACS (Picture Archiving and Communication System), lo que permite su consulta simultánea y remota por múltiples usuarios, mejorando la eficiencia en la gestión clínica (Machado Acuña, Salas Blanco, & Rivero Pons, 2023).

En la DR, la conversión de los rayos X en señales electrónicas se realiza mediante detectores digitales, siendo los sistemas de conversión directa una de las opciones más

avanzadas. Estos sistemas emplean materiales como el selenio amorfo, que convierte la radiación directamente en carga eléctrica proporcional a la intensidad recibida, evitando la fase intermedia de conversión a luz. Este proceso mejora la precisión y resolución de las imágenes, optimizando la calidad diagnóstica.

A diferencia de la radiografía computarizada (CR), que requiere un paso adicional para digitalizar las imágenes, la DR permite una adquisición inmediata mediante detectores de panel plano. Esto no solo reduce el tiempo de adquisición de las imágenes, sino que también incrementa la productividad de los servicios de radiología, consolidando a la DR como una herramienta fundamental en la radiología moderna por su capacidad de proporcionar imágenes precisas, rápidas y de alta calidad.

Dispersión e Ionización

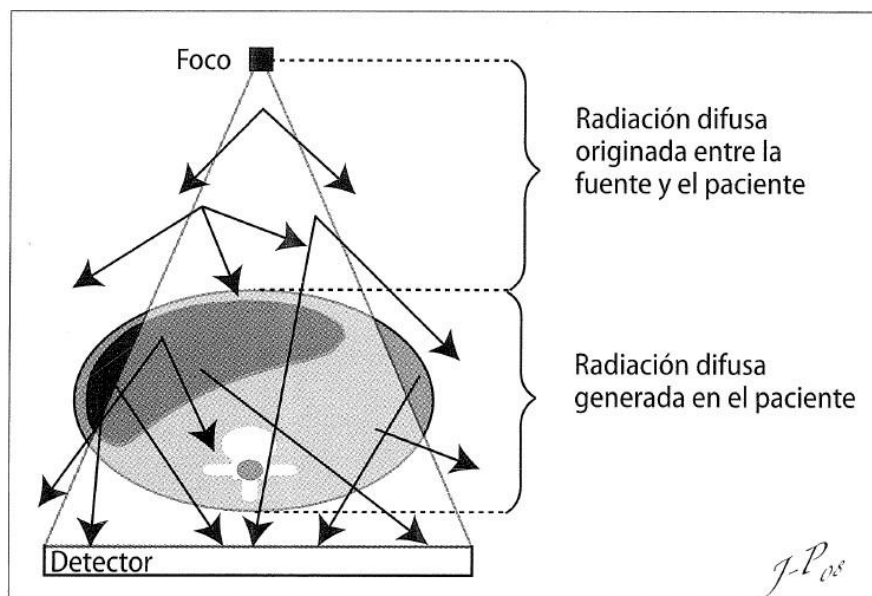
Los rayos X generan ionización en los materiales al expulsar electrones de los átomos, creando pares de iones. Este proceso es fundamental tanto para la formación de imágenes como para comprender los efectos biológicos de la radiación. En los sistemas de conversión directa, la ionización permite que la radiación incidente se convierta directamente en una señal electrónica, lo que optimiza la precisión y eficiencia de la detección en radiografía digital. Sin embargo, la ionización también es la base de la dosis de radiación absorbida por el paciente, lo que subraya la importancia de emplear técnicas que minimicen la exposición sin comprometer la calidad diagnóstica.

Por otro lado, la dispersión de los rayos X ocurre cuando los fotones interactúan con los tejidos y se desvían de su trayectoria original, lo que reduce el contraste de la imagen y puede degradar la calidad diagnóstica. Este fenómeno es un reto constante en la obtención de imágenes radiológicas claras, ya que los fotones dispersos añaden ruido a la imagen. Para mitigar estos

efectos, se utilizan colimadores que limitan el área irradiada y rejillas Potter-Bucky, las cuales bloquean la radiación dispersa antes de que llegue al detector. Estas estrategias son esenciales para maximizar el contraste y la precisión de las imágenes, garantizando diagnósticos más confiables con la menor exposición posible al paciente.

Figura 5

Origen de la Radiación Dispersa.



Nota. Adaptada de Diagnóstico por imágenes. Manual de técnicos radiólogos. Ediciones Journal.

Colimación y Protección Radiológica

La colimación es una técnica fundamental en radiología que consiste en limitar el haz de rayos X exclusivamente a la región de interés, minimizando la exposición innecesaria de los tejidos circundantes. Este proceso no solo mejora la calidad de la imagen al reducir la radiación dispersa, sino que también juega un papel clave en la protección radiológica, disminuyendo la dosis de radiación que reciben tanto los pacientes como el personal de salud. Al concentrar la radiación únicamente en el área necesaria para el diagnóstico, se optimiza la claridad de los detalles anatómicos, facilitando una interpretación más precisa de las imágenes.

La protección radiológica es una prioridad en la práctica clínica, especialmente en procedimientos repetidos o de alta dosis. Técnicas como la colimación, el uso de barreras de plomo y escudos gonadales, junto con la optimización de la dosis de radiación, son esenciales para minimizar los riesgos asociados a la exposición a la radiación ionizante. La correcta aplicación de la colimación no solo contribuye a obtener imágenes de mayor calidad diagnóstica, sino que también asegura la protección del paciente y del personal médico, alineándose con los principios fundamentales de la seguridad radiológica moderna.

Sobreexposición y Calidad de Imagen

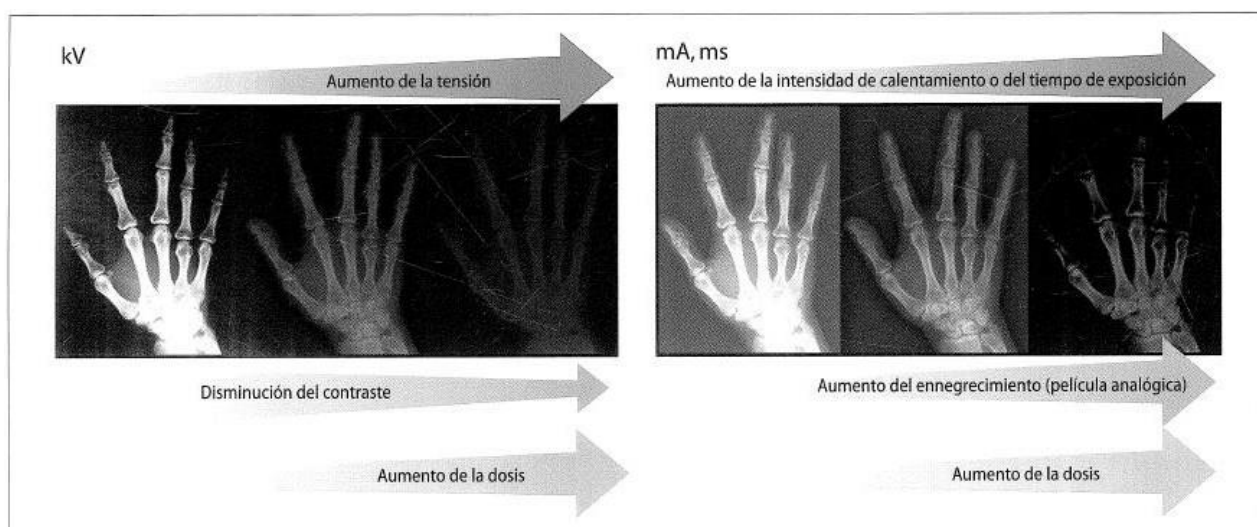
El amplio rango dinámico de los sistemas digitales ha mejorado significativamente la calidad de las imágenes radiológicas al permitir la captura de un espectro más amplio de niveles de radiación en una sola toma. Esta capacidad reduce la probabilidad de errores por sobreexposición o subexposición, minimizando la necesidad de repetir estudios y, por lo tanto, optimizando la dosis de radiación recibida por los pacientes. La relación señal-ruido, junto con la resolución espacial y el rango dinámico, son factores determinantes para obtener imágenes precisas y de alta calidad diagnóstica.

A pesar de la capacidad de los sistemas digitales para corregir automáticamente imágenes con parámetros de exposición no óptimos, es fundamental evitar la sobreexposición innecesaria, ya que aumenta la dosis de radiación sin mejorar proporcionalmente la calidad de la imagen. La protección radiológica es una prioridad en la práctica clínica, buscando siempre minimizar la dosis recibida por los pacientes y el personal sanitario. Un control adecuado de los parámetros de exposición es esencial para garantizar que cada procedimiento se realice con la mayor eficiencia diagnóstica posible, alineándose con los principios de seguridad radiológica. Estos avances

tecnológicos permiten no solo una mayor precisión en la obtención de imágenes, sino también un uso más responsable y seguro de la radiación ionizante.

Figura 6

Influencia de la Tensión y de la Carga Sobre el Contraste, Sobre la Dosis Administrada y Sobre el Ennegrecimiento de una Película Análoga.



Nota. Adaptada de Diagnóstico por imágenes. Manual de técnicos radiólogos. Ediciones Journal.

Visualización y Conversión de Energía

La dispersión de los rayos X representa un desafío crítico en radiología, ya que genera radiación difusa que disminuye el contraste y oscurece los detalles anatómicos esenciales para un diagnóstico preciso. Para mitigar este efecto, se emplean técnicas como la colimación, que limita el haz de rayos X al área de interés, y el uso de detectores digitales avanzados, los cuales optimizan la captura y la calidad de las imágenes. Estos avances no solo mejoran la resolución de las imágenes, sino que también contribuyen a la reducción de la dosis de radiación administrada al paciente, garantizando un equilibrio entre calidad diagnóstica y seguridad radiológica.

La conversión eficiente de la energía de los rayos X en señales electrónicas o lumínicas es un principio fundamental en los sistemas de radiografía digital. Esta conversión se realiza mediante detectores digitales, que transforman la radiación en señales procesables, optimizando

la calidad de la imagen. La visualización de estas imágenes en monitores de alta resolución permite ajustar parámetros como el brillo y el contraste, facilitando una interpretación clínica precisa y detallada.

La capacidad de los sistemas digitales para procesar y mejorar las imágenes ha transformado la práctica radiológica, permitiendo a los radiólogos interactuar con las imágenes para resaltar áreas específicas y realizar diagnósticos más acertados.

En conjunto, la implementación de monitores de alta resolución y detectores digitales ha elevado significativamente la precisión diagnóstica, al permitir una captura eficiente de los datos y su visualización optimizada. Estos avances no solo mejoran la calidad de las imágenes, sino que también refuerzan la eficiencia en la gestión de la dosis de radiación, cumpliendo con los estándares modernos de seguridad y protección radiológica.

Conversión de energía y Eficiencia

La precisión diagnóstica en radiología se basa en la correcta conversión de la energía de los rayos X en señales eléctricas que puedan ser procesadas digitalmente. Este proceso es fundamental para obtener imágenes con alta resolución y contraste adecuado, elementos esenciales para la interpretación precisa de las estructuras anatómicas y la identificación de patologías. La eficiencia de esta conversión determina la calidad de la imagen, ya que los detectores digitales deben transformar la mayor parte de la radiación incidente en una señal útil, minimizando las pérdidas y reduciendo el ruido que puede degradar la información visual.

La radiación absorbida en los sistemas radiológicos se convierte en señales eléctricas o visuales que forman la base de las imágenes diagnósticas. La capacidad de los detectores para capturar y transformar eficientemente la energía de los rayos X no solo optimiza la calidad de la imagen obtenida, sino que también permite un uso más eficiente de la dosis de radiación. Al

maximizar la conversión de energía en señales útiles, los sistemas digitales contribuyen a reducir la exposición del paciente, asegurando un diagnóstico más seguro y preciso. Estos avances en la tecnología de conversión son esenciales para cumplir con los estándares actuales en radiología, donde la calidad de la imagen y la protección radiológica deben estar en equilibrio constante.

Metodología

Enfoque y Tipo de Investigación

Esta investigación se desarrolló mediante una revisión de la literatura científica con enfoque cualitativo, orientada a identificar los algoritmos más efectivos para la reducción del ruido en radiología digital, sin comprometer la calidad diagnóstica. La revisión no pretendía descubrir nuevos conocimientos, sino sintetizar y comparar los avances y desafíos reportados en estudios previos.

Fases y Actividades

El desarrollo del trabajo investigativo se llevó a cabo en cuatro fases, la primera denominada de búsqueda y selección de literatura relevante; la segunda, análisis de algoritmos de procesamiento de imágenes; la tercera, Evaluación de desafíos y limitaciones y la cuarta de redacción de los resultados.

Búsqueda y Selección de Literatura Relevante: Se realizó una búsqueda de literatura en bases de datos científicas, con el fin de recopilar información sobre algoritmos de procesamiento de imágenes aplicados en radiología digital. Las bases de datos consultadas fueron: PubMed, IEEE Xplore, ScienceDirect y Google Scholar.

Palabras Clave Empleadas. “Reducción de ruido”, “radiología digital”, “procesamiento de imágenes”, “inteligencia artificial en imágenes médicas”, “SNR en radiografía”.

Criterios de Inclusión

Artículos y libros publicados en los últimos 10 años, a excepción de referencias clásicas esenciales para el marco teórico. Literatura en español e inglés.

Estudios que analicen tanto algoritmos tradicionales como aquellos basados en inteligencia artificial.

Criterios de Exclusión

Artículos que no aborden la calidad diagnóstica o que se enfoquen en modalidades distintas a la radiología digital.

Análisis de Algoritmos de Procesamiento de Imágenes

Los algoritmos identificados en la literatura se clasificaron en dos categorías: los tradicionales (filtros de paso bajo y técnicas clásicas de procesamiento digital) y los algoritmos basados en inteligencia artificial (IA): Redes neuronales, aprendizaje profundo y técnicas modernas de IA aplicadas al procesamiento de imágenes.

El análisis se enfocó en comparar su efectividad en la reducción del ruido y la preservación de la calidad diagnóstica, utilizando criterios como: Relación señal-ruido (SNR), la preservación de detalles anatómicos relevantes y el impacto en la precisión diagnóstica. Se emplearon cuadros comparativos para sintetizar los hallazgos.

Evaluación de Desafíos y Limitaciones

Se identificaron los desafíos tecnológicos y operativos que afectan la implementación de los algoritmos. Estos incluyeron: Complejidad computacional y requerimientos técnicos; adaptación a distintas modalidades como tomografía computarizada (TC) y resonancia magnética (RM); compatibilidad con equipos de imagen existentes en centros de salud. A partir del análisis, se plantearon propuestas de mejora con base en la literatura revisada.

Redacción y Síntesis de Resultados

En esta fase desarrollaron los objetivos de investigación, se consolidó la información y se llevó a cabo la discusión de los resultados, organizados en un documento.

Desarrollo del proyecto

Sobre los Algoritmos Basados en Inteligencia Artificial en la Reducción del Ruido en Radiología Digital

Antes de aplicar técnicas basados en la inteligencia artificial que ayuden a filtrar o atenuar señales y ruido, se deben revisar a fondo los sistemas de generación, adquisición, interfaces, conexiones, transmisión y recepción. Pero sobre todo, se debe identificar las fuentes de ruido y reducirlo antes de digitalizarlo.

Existen diferentes tipos de ruido, los más comunes: Ruido Gaussiano y Ruido Impulsivo (sal y pimienta). El primero, Produce pequeñas variaciones en la imagen, debido a componentes electrónicos. Esas variaciones afectan la imagen completa alterando la intensidad de todos los píxeles. “Cada muestra de entrada es afectada por un valor diferente, desde cero hasta un valor de saturación mínimo o máximo” (Mateu Villa & Sánchez Yáñez, 2017, pág. 2532). Y el Ruido impulsivo definido por Mateu Villa & Sánchez Yáñez (2017):

El valor que toma el píxel no tiene relación con el valor real, sino que toma valores muy altos o muy bajos. Tomando el máximo (sal) o el mínimo (pimienta). Se produce normalmente en la cuantificación que se realiza en el proceso de digitalización. (pág. 2532)

Las técnicas de supresión del ruido están estrechamente relacionadas con los algoritmos para mejorar la imagen. Existen las técnicas globales y las locales o espaciales. En la globales se opera sobre toda la imagen en conjunto y, en las locales, se analiza de forma individualizada el comportamiento de cada punto de la imagen.

En la siguiente tabla, se mencionan los algoritmos y la efectividad del ruido eliminado.

Tabla 1*Comparación de Efectividad en Radiología Digital*

Algoritmo	Ruido Eliminado	Preservación de Detalles	Efectividad Diagnóstica
Filtro de Mediana	Ruido impulsivo	Moderada	Alta
Filtro Gaussiano	Ruido gaussiano	Baja	Media
Transformada Wavelet	Mixto	Alta	Muy Alta
Denoising Autoencoders	Mixto	Muy Alta	Muy Alta
Filtro Bilateral	Mixto	Alta	Alta
Non-Local Means	Mixto	Muy Alta	Muy Alta

Nota. Elaboración propia con datos tomados de la literatura en referencia (2024)

Sobre los Desafíos y/o Limitaciones Actuales en la Implementación de Algoritmos de Reducción de Ruido en Radiología Digital

Filtro de Mediana

Reemplaza cada píxel por la mediana de los valores en su vecindario. Este algoritmo tiene como ventaja que preserva bordes en gran medida y es excelente para eliminar ruido impulsivo ("sal y pimienta"). Sin embargo, no es tan eficaz con ruidos gaussianos.

Filtro Gaussiano

Suaviza la imagen utilizando una función gaussiana, es fácil de implementar y adecuado para imágenes donde la reducción de ruido tiene prioridad sobre los detalles más finos. Dentro de

sus limitaciones se destaca por suavizar detalles finos, lo que puede borrar estructuras pequeñas importantes para el diagnóstico.

Transformada Wavelet

Separa la imagen en componentes de diferentes frecuencias y elimina el ruido en las frecuencias altas. Preserva bordes y detalles finos, además de ser muy eficaz para ruido heterogéneo. Pero requiere un ajuste cuidadoso de los umbrales.

Denoising Autoencoders (DAEs)

Algoritmos de aprendizaje profundo que aprenden a reconstruir imágenes limpias a partir de las ruidosas. Es adaptable a diferentes tipos de ruido y muy eficaz en la preservación de detalles. Este algoritmo tiene una limitación puesto que requiere grandes conjuntos de datos para entrenamiento y un alta demanda computacional.

Filtro Bilateral

Combina un filtro gaussiano espacial con un filtro que considera diferencias de intensidad, lo que permite preservar bordes. Genera un buen equilibrio entre reducción de ruido y preservación de bordes. Sin embargo, es muy lento para imágenes grandes.

Non-Local Means (NLM)

Busca píxeles similares en toda la imagen y calcula un promedio ponderado para reducir ruido. Preservando los detalles y las texturas finas siendo una excelente herramienta para imágenes con ruido moderado. La mayor desventaja de este algoritmo es que requiere de sistemas computacionales intensivos.

Conclusiones

Los algoritmos Autoencoders y Non-Local Means son los más efectivos en términos de calidad diagnóstica, pero requieren recursos significativos.

Transformada Wavelet y Filtro Bilateral ofrecen un buen equilibrio entre simplicidad y preservación de detalles importantes.

La elección del algoritmo depende del tipo de ruido predominante y de las características diagnósticas que se quieran preservar.

El algoritmo bilateral es efectivo especialmente para estructuras donde el contraste entre tejidos es clave.

La efectividad del filtro Gaussiano para imágenes donde la reducción de ruido tiene prioridad sobre los detalles más finos.

Referencias Bibliográficas

Alcaraz Baños, M. (s.f). La Imagen Digital.

Alcaraz Baños, M. (s.f). LA PELÍCULA RADIOGRÁFICA. Obtenido de Universidad de Murcia.

Azpeitia Arman, F. J., Jordi Puig , D., & Soler Fernández, R. (2016). Módulo II. Radiología digital. En S. S. Médica, Manual para Técnico Superior en Imagen para el Diagnostico y Medicina Nuclear. Editorial Médica Panamericana.

Busch, U. (2016). Wilhelm Conrad Roentgen. El descubrimiento de los rayos x y la creación de una nueva profesión médica. Revista Argentina de Radiología, vol. 80, núm. 4, 7, 80(4), 298-307.

Caicedo Martínez, O. H., Aldana Ramírez, C. A., & Hernández Suarez, C. (2009). Resonancia magnética funcional: evolución y avances en clínica. Tecnura, 13(25), 88-103.

Calzado, A., & Geleijns, J. (2010). Tomografía computarizada. Evolución, principios técnicos y aplicaciones. Revista de Física Médica, 11(3), 163-180.

González, I. H., & Cabrera, R. T. Características, ventajas y limitaciones de los sistemas de adquisición digital de imágenes radiográficas.

Heriberto, L. (2008). Las Ondas de Radicación Electromagnetica Extraordinaria Fuerza Invisible. CIENCIA UNEMI.

Machado Acuña, F., Salas Blanco, R., & Rivero Pons, B. E. (2023). Consideraciones teóricas sobre la radiografía digital como medio diagnóstico. MEDISAN, 27(4).

Mateu Villa, M., & Sánchez Yáñez, R. E. (2017). FUNDAMENTOS DE LA REDUCCIÓN DE RUIDO EN IMÁGENES. Verano de la Investigación Científica, 3(2).

- Narváez Pereira, M., Herrera Rojas, D. A., & Ladino Gutiérrez, A. L. (2024). Impacto de la inteligencia artificial en el control de calidad de imágenes radiológicas y la detección de artefactos.
- Mateu Villa, M., & Sánchez Yáñez, R. E. (2017). FUNDAMENTOS DE LA REDUCCIÓN DE RUIDO EN IMÁGENES. *Verano de la Investigación Científica*, 3(2).
- Narváez Pereira, M., Herrera Rojas, D. A., & Ladino Gutiérrez, A. L. (2024). Impacto de la inteligencia artificial en el control de calidad de imágenes radiológicas y la detección de artefactos.
- Organización P. S, Colectivo de autores (ed), (2009) guía de gestión e incorporación de tecnología radiológica de propósitos generales, editorial ciencias médicas.
- Phillippe, J. P.& Moerschel, E. (2012) Manual de técnicos Radiólogos Dillenserger Cuando la teoría enriquece la práctica. Ediciones Journal.
- S. López Bravo (2001) NT Introducción a la Radiografía Digital. *Revista de Física Médica* 2001; 2(2): 122
- Stewart C. B. (1999) Manual de radiología para técnicos Física, Biología y Protección Radiológica
- Torres, R. & González, C.& Coll, A., SF, Introducción al control de Calidad en Radiología Digital. Servicios editoriales.
- Ybargollin-Machado, S. E., Pérez-Díaz, M., Orozco-Morales, R., & Roque-Díaz, R. (2022). Reducción de ruido en imágenes de SPECT utilizando métodos de variación total. *Brazilian Journal of Experimental Design, Data Analysis and Inferential Statistics*, 2(1), 60-71.