

**Optimización basada en algoritmos de IA para la mejora de la calidad de imagen en
tomografía computarizada de cráneo: eficiencia y reducción de ruido**

Darlinton Alexander Benavides Torres

Haldahir Mauricio Sepúlveda Vargas

Juan Manuel Bolaños Guerrero

Luz Yaneth Alarcón Gómez

Nohora Ligia Hurtado Becerra

Asesor

Víctor Julio Vargas

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias de la Salud ECISA

Tecnología en Radiología e Imágenes Diagnosticas TRID

2024

Resumen

La tomografía computarizada permite observar la anatomía del cuerpo mediante cortes transversales en diferentes planos, para la generación de estas imágenes, se emplean sofisticados algoritmos de reconstrucción que usan los datos en bruto recogidos por la matriz detectora para dar forma y volumen a las estructuras internas del cuerpo humano, y que estas se puedan ver representadas mediante una escala de grises relacionada a la densidad del tejido por el cual está constituido. Estas herramientas utilizan complejos cálculos matemáticos para convertir la información obtenida en una imagen clara y con valor diagnóstico, por lo que no están exentas de errores, y son varios los factores que pueden perjudicar la calidad de la imagen y por consiguiente, interferir en el diagnóstico de patologías. Con el avance de la tecnología, los algoritmos de reconstrucción han mejorado al punto de poder reducir significativamente el ruido y artefactos de las imágenes en los estudios de tomografía, sin embargo, el uso de estas herramientas en estudios con bajas dosis de radiación ha tenido resultados mixtos relacionados con la textura y la calidad de la imagen. Esto ha llevado a investigar nuevos algoritmos de reconstrucción con métodos nuevos e innovadores como la inteligencia artificial, los cuales han presentado resultados prometedores para reducir el ruido de la imagen muy bajas dosis de radiación mientras mantienen la calidad de un estudio estándar. En este trabajo se van a describir los algoritmos de reconstrucción convencionales como la retroproyección filtrada y la reconstrucción iterativa, para realizar una comparativa con los nuevos algoritmos basados en inteligencia artificial y mediante literatura revisada se va a describir las ventajas y desventajas de estas herramientas en estudios de tomografía computarizada de cráneo con bajas dosis de radiación.

Palabras Clave: Tomografía Computarizada, Algoritmos de Reconstrucción, Inteligencia Artificial, Deep Learning, Reducción de Ruido.

Abstract

Computed tomography allows observation of the body's anatomy through cross-sectional slices in different planes. Sophisticated reconstruction algorithms are used to generate these images, utilizing the raw data collected by the detector matrix to shape and volumize the internal structures of the human body, allowing them to be represented using a grayscale scale related to the tissue density they are made of. These tools employ complex mathematical calculations to convert the obtained information into a clear image with diagnostic value. However, they are not free from errors, and several factors can affect image quality and, consequently, interfere with the diagnosis of pathologies. With the advancement of technology, reconstruction algorithms have improved to the point of significantly reducing noise and artifacts in tomography studies. However, the use of these tools in low-radiation-dose studies has yielded mixed results related to image texture and quality. This has led to the exploration of new reconstruction algorithms with innovative methods such as artificial intelligence, which have shown promising results in reducing image noise at very low radiation doses while maintaining the quality of a standard study. In this work will describe conventional reconstruction algorithms such as filtered back projection and iterative reconstruction, in order to make a comparison with the new algorithms based on artificial intelligence. Through a review of the literature, the advantages and disadvantages of these tools in low-radiation-dose cranial computed tomography studies will be discussed.

Keywords: Computed Tomography, Reconstruction Algorithms, Artificial Intelligence, Deep Learning, Noise Reduction.

Tabla de Contenido

Introducción.....	8
Planteamiento del problema	9
Justificación.....	11
Objetivos	13
Objetivo General	13
Objetivos Específicos	13
Marco teórico	14
Metodología	30
Desarrollo del proyecto.	32
Conclusiones	45
Referencias	46

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Ventajas de la IA en TC.</i>	27
Tabla 2 <i>Literatura Revisada Sobre Algoritmos de Reconstruccion en Tomografia</i>	32
Tabla 3 <i>Literatura Revisada sobre Inteligencia Artificial en Tomografia</i>	33

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Retroproyeccion en TC</i>	17
Figura 2 <i>Artefacto de Raya por Endurecimiento del Haz</i>	18
Figura 3 <i>Volumen Parcial en TC de Craneo</i>	18
Figura 4 <i>Artefacto Metalico en TC de Muslo</i>	19
Figura 5 <i>Analisis de Datos por Retroproyección Filtrada</i>	19
Figura 6 <i>Analisis de Datos por Reconstrucción Iterativa</i>	20
Figura 7 <i>TC de Abdomen Reconstruido con AIDR-3D</i>	23
Figura 8 <i>TC de Abdomen Reconstruido con AiCE</i>	24
Figura 9 <i>TC de Abdomen Reconstruido con Retroproyeccion Filtrada y TrueFidelity</i>	25
Figura 10 <i>Proceso de Entrenamiento de la IA para la Reduccion del Ruido</i>	29
Figura 11 <i>TC de Abdomen Contrastado Reconstruido con IR Hibrido SAFIRE</i>	39
Figura 12 <i>TC de Abdomen Realizado con Diferentes Algoritmos de Reconstrucción</i>	41
Figura 13 <i>TC de Cráneo Reconstruido con AIDR-3D y AiCE</i>	43

Introducción

En este diplomado se va realizar un análisis sobre la inteligencia artificial y como su incorporación en algoritmos de reconstrucción de tomografía computarizada puede mejorar la calidad de imagen en estudios de cráneo; teniendo en cuenta la importancia de este protocolo para la detección de patologías del encéfalo y las dificultades que se pueden presentar para reconstruir imágenes de calidad debido a la presencia de estructuras craneales complejas que pueden ser propensas a generar artefactos, además de problemas relacionados con el contraste y ruido al realizar estudios de bajas dosis, lo que puede interferir en el diagnóstico médico.

Los resultados de este análisis se desarrollaron mediante la lectura y revisión de material bibliográfico que describan los diferentes tipos de algoritmos de reconstrucción empleados en tomografía computarizada, empezando desde la descripción de la retroproyección filtrada como uno de los principales y más comúnmente utilizados algoritmos, hasta el desarrollo de herramientas más avanzadas como la reconstrucción iterativas y las variantes hechas por distintos fabricantes, esto con el objetivo de identificar tanto las cualidades más representativas, así como los problemas relacionados con el ruido, resolución espacial, contraste y textura de la imagen en este tipo de algoritmos.

Así mismo, se realizará una comparativa con las nuevas propuestas de algoritmos de reconstrucción con IA, los cuales mediante deep learning pretenden mejorar la calidad de la imagen y reducir la dosis de radiación de los estudios de tomografía, siendo del interés de todos los involucrados en el desarrollo de este trabajo, conocer cuáles de estas herramientas puede cumplir con el papel de generar imágenes de TC con el mínimo de ruido en estudios de cráneo con bajas dosis de radiación y de alto valor diagnóstico.

Planteamiento del Problema

La tomografía computarizada (TC) es una técnica diagnóstica fundamental en la medicina moderna, particularmente en la evaluación de estructuras intracraneales. Sin embargo, la calidad de las imágenes obtenidas mediante TC puede verse afectada por varios factores, como el ruido de la imagen, la resolución espacial y la dosis de radiación administrada al paciente. Una calidad de imagen subóptima no solo compromete el diagnóstico preciso, sino que puede llevar a tratamientos inadecuados, afectando negativamente la seguridad del paciente.

Tradicionalmente se han utilizado métodos convencionales como la retroproyección filtrada (FBP) y la reconstrucción iterativa (IR) para optimizar la calidad de imagen en TC. La FBP ha sido ampliamente utilizada debido a su rapidez y simplicidad, pero es vulnerable a problemas relacionados con la amplificación del ruido y la creación de artefactos en la imagen, particularmente cuando se intenta reducir la dosis de radiación. Por otro lado, los métodos de reconstrucción iterativa, como la reconstrucción iterativa simple (SIR) y la reconstrucción iterativa basada en modelos (MBIR), han mejorado la reducción de artefactos y la calidad general de la imagen, pero conllevan costos computacionales elevados y un mayor tiempo de procesamiento, lo que puede ser una limitación en entornos clínicos donde la rapidez en el diagnóstico es crucial.

En este escenario, los algoritmos de inteligencia artificial (IA) han surgido como una solución innovadora y prometedora para abordar los desafíos mencionados. La IA particularmente a través del uso de redes neuronales complejas y aprendizaje profundo, ha mostrado un potencial significativo en el procesamiento de imágenes médicas, logrando resultados superiores a los métodos convencionales en términos de reducción de ruido, mejora de la resolución espacial y disminución de la dosis de radiación. Algoritmos de IR híbridos como

AIDR-3D (adaptive iterative dose reduction-3D), ASIR-V (adaptive statistical iterative reconstruction-V) o SAFIRE (sinogram affirmed iterative reconstruction); y algoritmos basados en IA como AiCE (advanced intelligent Clear-IQ engine) y TrueFidelity, representan avances tecnológicos que permiten mejorar la calidad de imagen en TC de cráneo sin necesidad de aumentar la dosis de radiación, lo que representa un paso importante hacia un diagnóstico más seguro y eficaz.

Chillarón Pérez (2021), destaca que AIDR-3D combina técnicas avanzadas de reducción de ruido durante la adquisición de datos y en el proceso de reconstrucción de la imagen, logrando una reducción de la dosis de radiación de hasta un 75% en comparación con la FBP, sin comprometer la calidad de imagen. Asimismo, AiCE utiliza redes neuronales profundas para mejorar la nitidez y claridad de la imagen, optimizando el proceso de reconstrucción y obteniendo resultados clínicos superiores a los métodos tradicionales. No obstante, aunque estos avances son alentadores, aún existen limitaciones en cuanto a la adopción generalizada de la IA en la práctica clínica debido a factores como el costo computacional, la infraestructura tecnológica requerida y la necesidad de estudios que comparen sistemáticamente los beneficios de estos algoritmos frente a los métodos convencionales.

En el presente trabajo se plantea evaluar la efectividad de los algoritmos de optimización basados en IA en la mejora de la calidad de imagen en sistemas de tomografía computarizada de cráneo. Se compararán estos algoritmos con los métodos tradicionales en términos de resolución, reducción de ruido y minimización de dosis de radiación. La investigación determinará si los algoritmos de IA ofrecen mejoras significativas en estos aspectos y evaluará su impacto en la calidad diagnóstica y la seguridad del paciente, contribuyendo así a la optimización de los procedimientos de TC en la práctica clínica.

Justificación

La tomografía computarizada (TC) es una de las herramientas de diagnóstico por imágenes más usada en la actualidad, su alta sensibilidad, rapidez y bajo costo en comparación con técnicas más avanzadas como la resonancia magnética (RM), ha hecho que su uso en la detección de patologías sea cada vez más alto, por lo que aun siendo una técnica que utiliza radiación ionizante como método de adquisición de imágenes, el riesgo a tomar llega a ser justificables si se compara con los beneficios que trae al momento de salvar vidas.

Asimismo, entre los estudios más solicitados en TC se encuentra el protocolo de cráneo, utilizado tanto para ver el parénquima cerebral como las estructuras óseas de la bóveda craneal. Para la formación de estas imágenes los equipos de tomografía implementan algoritmos de reconstrucción que permiten traducir los datos obtenidos de los fotones de radiación en imagen bidimensionales (2D) de la región anatómica. Ejemplos de estos algoritmos son la retroproyección filtrada (FBP) y la reconstrucción iterativa (IR) y se han utilizado durante años en tomografía ya sea por su fiabilidad o rapidez de procesamiento.

Sin embargo, estos algoritmos han presentado algunas desventajas con la calidad de las imágenes y los tiempos de reconstrucción, principalmente cuando se utilizan técnicas de exposición que están por debajo de las recomendadas y que pueden interferir en el diagnóstico, siendo un problema común los cambios de textura en la imagen cuando se suprime el ruido en estudios de baja dosis.

En este sentido, inteligencia artificial ha tomado un papel más protagónico en cuanto a la reducción de ruido, artefactos y calidad de imagen en tomografía computarizada, la implementación de estos algoritmos basados en aprendizaje profundo (DL) permiten reducir el ruido sin sacrificar la calidad de imagen en bajas dosis de radiación, también pueden adaptarse a

tareas específicas que permitan el procesamiento de imágenes con mayor eficacia que otros algoritmos tradicionales.

Bajo esta premisa, algunos fabricantes han desarrollado algoritmos que utilizan el aprendizaje profundo (DL) como método de reconstrucción de imágenes, como es el caso de General con el algoritmo TrueFidelity, Canon con advanced intelligent clear-IQ engine (AiCE), o algoritmos híbridos como AIDR-3D o SAFIRE. Estos algoritmos han tenido un impacto positivo en la reducción de ruido y artefactos, además de una clara reducción en las dosis empleadas para los estudios de tomografía, sin embargo, están lejos de ser perfectos y aun se siguen realizando comparaciones con diferentes protocolos y con algoritmos tradicionales en busca de las ventajas y desventajas que puede haber entre ellos.

Por este motivo se debe de hacer una investigación en busca de contenido bibliográfico donde se evidencie el potencial de la inteligencia artificial y los algoritmos que la emplean para el mejoramiento de la calidad en los estudios de tomografía, principalmente en los protocolos de cráneo, pues esta es una región con estructuras complejas, densas y susceptibles a artefactos o pérdida de calidad, por lo que puede ser un desafío y una prueba para estos algoritmos, donde se puede demostrar la eficiencia de estos en comparación con los algoritmos de retroproyección filtrada (FBP) y reconstrucción iterativa (IR).

Objetivos

Objetivo General

Demostrar la efectividad de los algoritmos de reconstrucción basados en inteligencia artificial (AiCE y TrueFidelity) para reducir el ruido y optimizar la calidad de imagen en estudios de TC de cráneo con baja dosis de radiación.

Objetivos Específicos

Identificar los artefactos más comunes en TC de cráneo que pueden interferir en la calidad de la imagen, y explicar cómo la inteligencia artificial puede suprimirlos.

Comparar los métodos de reconstrucción tradicionales (IR/FBP) con los algoritmos basados en IA en estudios con bajas técnicas de exposición y analizar cuál de estas opciones tiene una mejor calidad en la reconstrucción bajo estos parámetros.

Describir el potencial que tiene los algoritmos basados en IA para generar imágenes de mayor resolución que beneficien la identificación patologías en zonas complejas del cráneo.

Marco Teórico

La Tomografía Computarizada

La tomografía computarizada (TC) es una técnica diagnóstica que revolucionó el campo de la medicina por su capacidad para ofrecer imágenes detalladas en cortes transversales de estructuras internas del cuerpo humano. La historia de la TC comenzó en la década de 1970 con el desarrollo de la primera máquina de TC por el ingeniero británico Godfrey Hounsfield y el físico sudafricano Allan Cormack. En 1971, Hounsfield realizó la primera imagen tomográfica del cerebro humano, utilizando rayos X para obtener múltiples proyecciones de un objeto y reconstruirlas en imágenes tridimensionales. Este avance se tradujo en un impacto significativo en el diagnóstico médico, permitiendo la visualización precisa de estructuras intracraneales, lesiones y tumores.

En 1979, Hounsfield y Cormack recibieron el premio nobel de medicina por su contribución al desarrollo de la tomografía computarizada. Desde entonces la tecnología ha evolucionado, incorporando avances en hardware y algoritmos de reconstrucción, lo que ha permitido mejorar la calidad de imagen y reducir la dosis de radiación. En la actualidad, la TC se ha convertido en una herramienta esencial en la práctica clínica, utilizada en diversas áreas de diagnóstico, desde neurología hasta oncología.

El principio de funcionamiento en tomografía computarizada utiliza rayos X para crear imágenes en cortes transversales del cuerpo. Este proceso se desarrolla en el gantry, que contiene un tubo de rayos X que gira alrededor del paciente, emitiendo radiación ionizante que atraviesa los tejidos y es recibida por la matriz detectora.

Estos fotones de rayos X son atenuados en función de la densidad y composición de los tejidos que atraviesan, mientras que una fila de detectores registran la cantidad de radiación que

no ha sido absorbida y convierte esta información en datos digitales que se procesan para calcular el coeficiente de atenuación de cada tejido, y en base a esto se asigna una unidad Hounsfield que será representada en tonalidades de gris en las imágenes reconstruidas.

Asimismo, los datos son procesados mediante algoritmos matemáticos como la transformada de Radón, mediante una matriz de reconstrucción crea una imagen bidimensional que permite visualizar los datos en múltiples planos, proporcionando a los médicos una visión detallada de las estructuras anatómicas.

En relación a lo anterior, la calidad de imagen en TC está determinada por factores como la resolución espacial, el contraste y el ruido. La resolución espacial se refiere a la capacidad del sistema para distinguir entre dos objetos cercanos, mientras que el ruido puede interferir con la claridad de la imagen, dificultando el diagnóstico. Un factor crítico en la obtención de imágenes de calidad es la dosis de radiación administrada al paciente. Aunque la TC ofrece imágenes de alta calidad, el uso de radiación ionizante plantea riesgos, lo que hace esencial encontrar un equilibrio entre calidad de imagen y exposición a radiación.

Tomografía de Cráneo

El protocolo de cráneo es un estudio de TC que se emplea para visualizar tanto la bóveda craneal como el sistema nervioso central (mediante la configuración de ventanas, ya sea de tejido blando o de hueso) en distintos planos transversales. Es un estudio rápido y accesible con alta sensibilidad para detectar patologías en los tejidos blandos del encéfalo (traumatismos, hemorragias, isquemias, masas, infecciones, malformaciones, etc.) cuando se utiliza la ventana de cerebro o para identificar fracturas y realizar reconstrucciones en 3D del cráneo.

Para su realización se posiciona al paciente en decúbito supino sobre la mesa de exploración y con la cabeza en el centro del gantry; se toma un topograma en proyección AP y

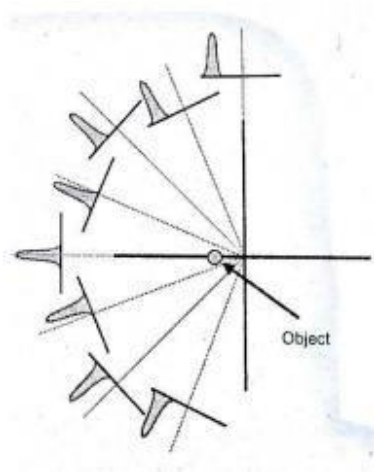
lateral para planear el estudio desde el foramen occipital hasta el vertex, con grosor de corte de 6mm (paralelos a la línea orbitomeatal). La técnica a utilizar es con kilo voltaje pico (Kvp) de 150 y 310/350 de mili amperaje por segundo (mAs), con reconstrucción en 3 planos utilizando ventanas de cerebro y hueso.

Algoritmos de Reconstrucción en Tomografía

Los algoritmos funcionan mediante la adquisición de datos de proyección obtenidos a través de la exposición a la radiación del cuerpo en estudios de tomografía. Clásicamente, la reconstrucción de imágenes se realiza mediante retroproyección filtrada por lo sencillo y robusto que resulta este tipo de algoritmo.

La forma de tomar proyecciones desde diferentes ángulos para reconstruir una imagen bidimensional es los que se denomina retroproyección, este proceso por si solo genera una imagen borrosa cuya calidad mejora a medida que aumenta las proyecciones, sin embargo este artefacto es constante, por lo que se emplea el teorema de corte central de Fourier como filtro para la imagen.

La Retroproyección Filtrada (FBP). Es un algoritmo reconstrucción tradicional utilizado en TC para reconstruir imágenes, siendo uno de los métodos más antiguos y ampliamente utilizados en tomografía. Emplea la transformada inversa de radón como herramienta de análisis de datos matemáticos para el teorema de corte central Fourier, que tal y como lo explica Falcon (1999) “relaciona a la transformada de Fourier unidimensional de las proyecciones con la transformada bidimensional del objeto” (p. 67). De forma muy general, el teorema explica que se puede recuperar la forma de un objeto si se conocieran todos ángulos del mismo por medio de la toma de proyecciones infinitas del objeto. Este método implica proyectar los datos de los rayos X en una serie de imágenes y aplicar un filtro para reducir el ruido.

Figura 1*Retroproyección en TC*

Nota. (Benitez, 2017).

Aunque la FBP es rápida y fácil de implementar, presenta limitaciones significativas: al no tener las suficientes proyecciones puede haber amplificación del ruido, además de que el algoritmo en un principio no es capaz de discernir errores, por lo que es propenso a generar artefactos en las imágenes obtenidas con bajas dosis de radiación o en zonas donde la densidad del tejido es muy heterogénea. Ejemplos de esto son los siguientes artefactos.

Endurecimiento del Haz. Producido por la absorción de fotones de baja energía en estructuras con alta densidad, esto provoca que en la imagen se visualicen líneas y sombras oscuras en donde fueron atenuados los rayos. El artefacto fue eliminado con filtros y era más común en la zona del cráneo.

Figura 2

Artefacto de Raya por Endurecimiento del Haz

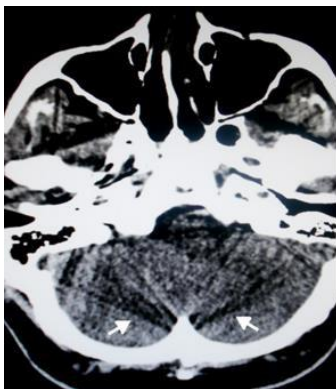


Nota. (Sartori et al., 2015).

Volumen Parcial. Se produce cuando hay índices de atenuación muy distintos dentro de un mismo voxel, principalmente en el cerebro donde hay estructuras con densidades muy heterogéneas y cuando se realiza el scan con cortes muy gruesos.

Figura 3

Volumen Parcial en TC Cráneo

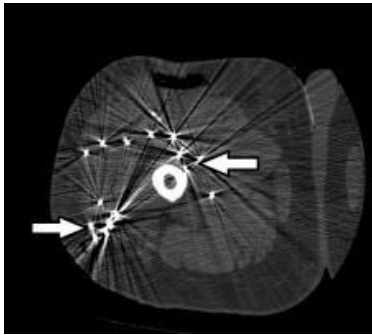


Nota. (Sartori et al., 2015).

Artefacto Metálico. Causado por objetos metálicos, la alta densidad provoca la absorción abrupta del haz de rayos y un error en el procesamiento de la imagen debido a que la densidad del objeto supera el umbral de absorción del equipo (en los más antiguos era de 1000 UH), esto hace que en la imagen se observe un halo o haz con aspecto de rayos de sol.

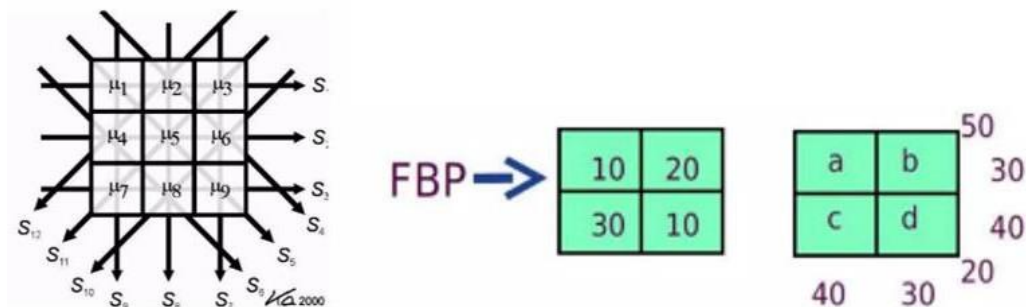
Figura 4

Artefacto Metálico en TC de Muslo



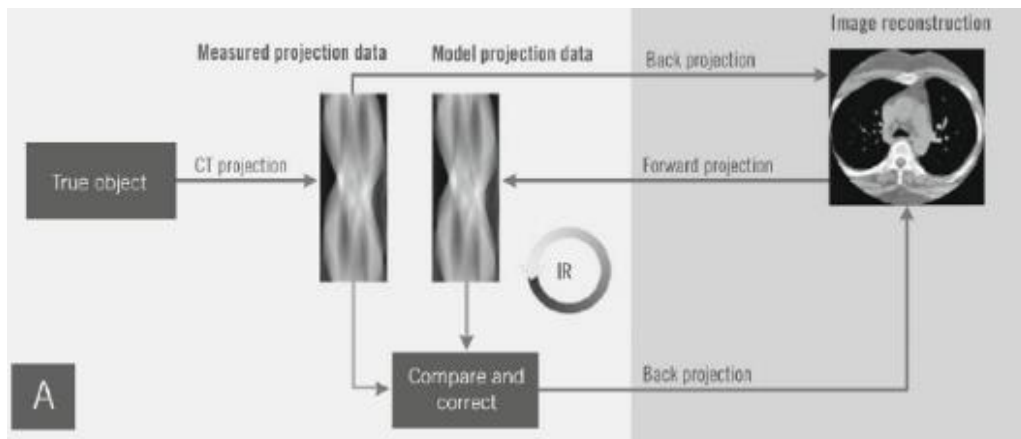
Nota. (Sartori et al., 2015).

Reconstrucción Iterativa (IR). Los algoritmos por IR se desarrollaron para dar solución a los problemas de calidad de la retroproyección filtrada (FBP), con este tipo de algoritmo se pueden producir imágenes con menor cantidad de ruido y técnicas de exposición más bajas. La IR se basa en el análisis y corrección de datos matemáticos (suponer, medir, comparar y corregir) desde diferentes ángulos de proyección, de esta forma cada vez que este proceso se repite, la exactitud de los cálculos y por tanto la calidad de la imagen va mejorando.

Figura 5*Análisis de Datos por Retroproyección Filtrada*

Nota. (Cabrera, 2015).

Para reconstruir una imagen con IR lo primero que se hace es la obtención de datos de proyección, estos son analizados y medidos por medio de retroproyección filtrada (FBP) y enviados a un dominio (o raw data domain), donde se reconstruye una imagen y se simula la adquisición de la misma. Este modelo es enviado a un espacio denominado image data domain donde se compara con los datos de proyección obtenidos previamente para corregir la estructura y ruido, luego, los datos de este modelo ya corregidos se envían al raw data domain y se repite el proceso, actualizando los datos de imagen con cada iteración hasta reducir al mínimo el ruido y los artefactos. A estos pasos se les denomina reconstrucción hacia adelante y hacia atrás y se explica de esta forma “En el paso de reconstrucción hacia atrás, las imágenes se reconstruyen a partir de datos de proyección, y en el paso de reconstrucción hacia adelante, los datos de proyección se generan a partir de imágenes” (Willeminck et al., 2013, p. 2).

Figura 6*Análisis de Datos por Reconstrucción Iterativa*

Nota. (Willeminck et al., 2013).

El método de Reconstrucción Iterativa (IR), como la SIR (Simple Iterative Reconstruction) y la MBIR (Model-Based Iterative Reconstruction), han mejorado la calidad de las imágenes en comparación con la FBP. Estos algoritmos utilizan un enfoque más complejo que permite optimizar la reducción de ruido y artefactos, pero a un costo computacional mayor y tiempos de procesamiento más largos, lo que puede ser un obstáculo en entornos clínicos donde la rapidez es crucial.

Algoritmos de IA en Tomografía. La inteligencia artificial en TC ha emergido como una solución prometedora para los desafíos en la calidad de imagen de la TC, mediante el uso de redes neuronales profundas y aprendizaje automático, la IA puede aprender a identificar patrones complejos en los datos de imagen, optimizando así la calidad y reduciendo el ruido sin aumentar la dosis de radiación.

Las redes neuronales convolucionales (CNN) son un tipo de modelo de IA que se ha utilizado con éxito en el procesamiento de imágenes médicas. Estas redes están diseñadas para reconocer patrones y características en imágenes, lo que les permite reducir el ruido y mejorar la resolución de manera más efectiva que los algoritmos tradicionales. Al entrenarse con conjuntos

de datos de imágenes ruidosas y de alta calidad, las CNN pueden aprender a restaurar la calidad de imagen sin comprometer la seguridad del paciente.

Ante este avance de la tecnología y la inteligencia artificial, varias han sido las propuestas para implementar algoritmos que utilicen el aprendizaje profundo (deep learning o DL) como método de reconstrucción de imágenes en tomografía. Estas herramientas basadas en redes neuronales convolucionales (CNN) se asemejan a múltiples capas similares a la estructura neuronal del cerebro humano, cuya finalidad es la de analizar y aprender de forma automática por medio de un riguroso entrenamiento y así ser capaces de desarrollar múltiples tareas en comparación con algoritmos convencionales.

Para poder entrenar este tipo de algoritmos se utilizan imágenes gold standard de alta calidad suministradas tanto de casos clínicos de pacientes como de phantoms (objetos que simulan estructuras o densidades del cuerpo humano), estas son tomadas de algoritmos de reconstrucción por retroproyección filtrada (FBP) y por reconstrucción iterativa basada en modelos (MBIR), además de que se utilizan imágenes que tengan una gran cantidad de ruido y artefactos que funcionan como medio de adaptación del algoritmo; este utilizará la CNN para mapear las imágenes de alto ruido y generar parámetros que permita generar una representación con bajo ruido utilizando como referencia las imágenes de alta calidad.

De forma general, la filosofía para la creación de estos algoritmos es poder producir una imagen de alta calidad incluso si la dosis de radiación es más baja de lo normal, que se pueda aumentar la resolución espacial sin preocuparse por una pérdida de la relación señal-ruido, manteniendo el contraste de los tejidos blandos, y que a su vez la adquisición de imágenes sea igual o más rápida que la de otros equipos con algoritmo convencionales, esto con el fin de

agilizar el tiempo entre pacientes mediante la automatización de los parámetros de calidad a la vez que se mantienen tiempos de exposición bajos.

Algunos ejemplos de algoritmos que pueden cumplir con estas expectativas son AiCE (Advanced Intelligent Clear-IQ Engine de Canon y TrueFidelity de General Electric: el primero de estos es un algoritmo de reconstrucción por aprendizaje profundo (DL) implementado a los equipos de tomografía Aquilion junto con AIDR 3D, un algoritmo de reconstrucción iterativa encargado de reducir el ruido de la imagen. La combinación de estos permite eliminar artefactos mientras se mantiene el contraste y textura natural de la imagen en protocolos de ultra alta resolución (UHR-CT) incluso con una baja exposición.

Asimismo AiCE es capaz de modular automáticamente el mili amperaje del equipo, modificando los parámetros de acuerdo al grosor del paciente y reduciendo la dosis de exposición hasta en un 75%; puede generar imágenes con una alta resolución espacial incluso en estructuras de bajo contraste y es ideal para la detección de neoplasia en tejido blando, además, la reconstrucción de las mismas puede ser de 50 imágenes por segundo con el apoyo de AIDR-3D.

Figura 7

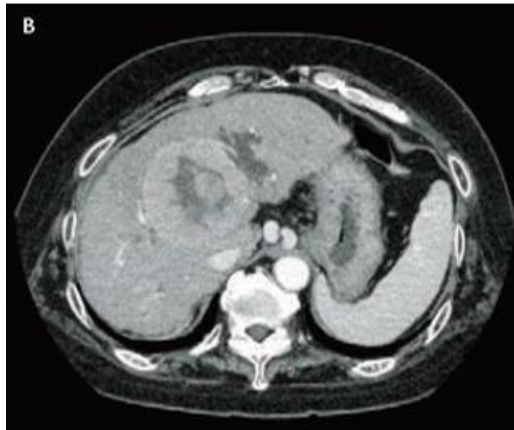
TC de Abdomen Reconstruido con AIDR-3D



Nota. (Baptiste et al., 2022).

Figura 8

TC de Abdomen Reconstruido con AiCE

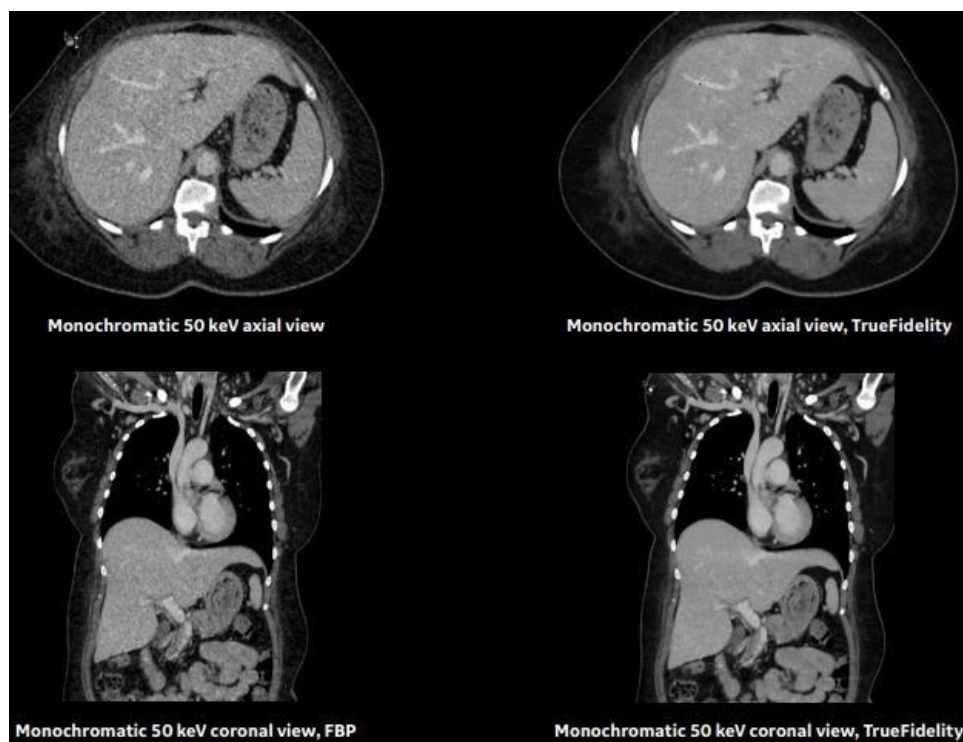


Nota. (Baptiste et al., 2022).

Por otro lado General Electric ha implementado en sus equipos más modernos el algoritmo TrueFidelity, que utiliza redes neuronales convolucionales (CNN) para minimizar los artefactos y ruidos de las imágenes a la vez que conserva el contraste y delineado de las mismas mediante el escaneo de energía dual GSI (gemstone spectral imaging), que ajusta el kilo voltaje en dos niveles de energía (alta y baja) para examinar las propiedades de atenuación de los tejidos, y en base a curvas de atenuación ya conocidas, se reconstruye una imagen más detallada y natural mediante la comparación de los niveles de energía altos y bajos que se recolectan en el escaneo.

Figura 9

TC de Abdomen Reconstruido con Retroproyección Filtrada Y TrueFidelity



Nota. (Baptiste et al., 2022).

Debido al riguroso entrenamiento a los que son sometidos estos algoritmos, el encargo de los equipos se hace con antelación para poder preparar la IA, esta debe adaptarse incluso a patologías no previstas o poco frecuentes para poder generar imágenes de alta calidad que no se vean artificiales.

Ventajas, Limitaciones y Desafíos al Implementar las IA en TC. Diversos estudios han demostrado que los algoritmos basados en IA, como TrueFidelity y AiCE, mejoran significativamente la imagen mediante la optimización de los parámetros de calidad, como describe Mohammadinejad et al. (2021) “las CNN pueden reducir significativamente los niveles de ruido y, al mismo tiempo, mantener una alta resolución espacial, libre de la textura plástica artificial que afecta a muchos otros enfoques de eliminación de ruido” (p. 1504). Estas comparaciones han evidenciado mejoras significativas en la precisión diagnóstica y la seguridad del paciente, lo que respalda la implementación de estas tecnologías en la práctica clínica.

Tabla 1*Ventajas de la IA en TC*

Beneficios de implementar inteligencia artificial en tomografía.

Segmentación automática	La IA puede segmentar automáticamente estructuras anatómicas en las imágenes de TC, lo que facilita la visualización y el análisis.
Mejora de la eficiencia	La IA puede automatizar tareas rutinarias (ajuste de Kv, mAs, reducción de ruido, mejora de la resolución, etc.) liberando tiempo de los tecnólogos.
Reducción de errores	La IA puede reducir los errores humanos tanto en el ajuste protocolos (evitando sobreexponer a un paciente) como en la interpretación de imágenes médicas.
Análisis rápido y preciso	La IA puede procesar grandes cantidades de datos de imágenes de TC de forma rápida y precisa, lo que ayuda a identificar patrones, tendencias y artefactos en el cráneo de manera más eficiente.
Detección de patologías	La IA puede mejorar la calidad de la imagen, que ayuda a detectar patologías como

hemorragias, trombosis, fracturas y tumores
con alta precisión.

Nota. Autoría propia.

Sin embargo, la tomografía de cráneo presenta desafíos únicos debido a la complejidad y densidad de las estructuras cerebrales, lo que conlleva a problemas de eficiencia, reducción de ruido, dosis y artefactos en el procesamiento de la imagen. La utilización de algoritmos de IA en estos estudios permite optimizar la calidad de imagen, minimizar la dosis de radiación y facilitar el diagnóstico preciso de patologías como isquemias, tumores y hemorragias. Algoritmos de IR híbridos o de IA como AIDR 3D y AiCE ha demostrado ser eficaces en la obtención de imágenes de alta calidad, incluso en condiciones de baja dosis, lo que resulta crucial para la seguridad de los pacientes.

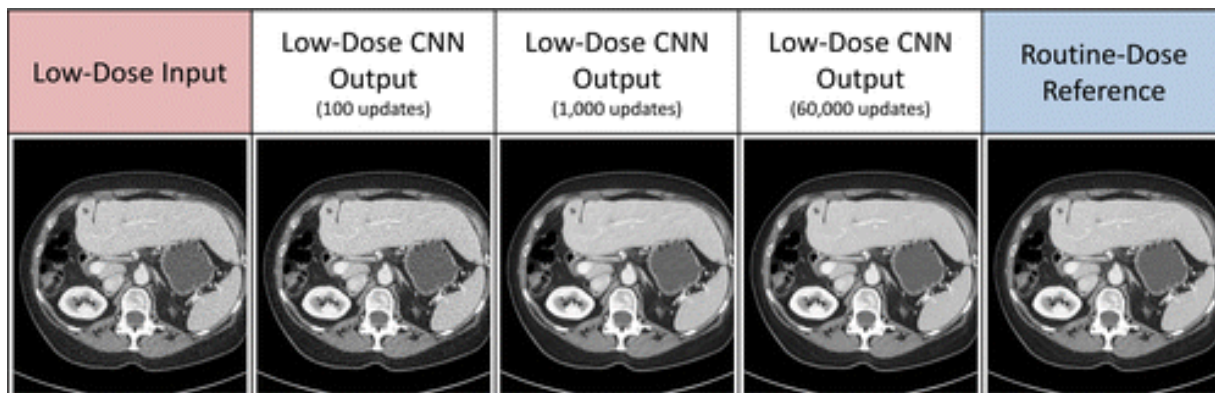
A pesar de los beneficios prometedores, la adopción de la IA en la práctica clínica enfrenta desafíos. Los costos computacionales y la infraestructura tecnológica requerida para implementar algoritmos de IA pueden ser limitantes, especialmente en entornos clínicos con recursos limitados. Además, la validación clínica de estos algoritmos es esencial para asegurar su eficacia y confiabilidad, lo que requiere más estudios comparativos y de seguimiento a largo plazo.

A futuro de la optimización de imágenes en tomografía computarizada parece prometedor. Se anticipa que los avances en algoritmos de IA y el desarrollo de tecnologías emergentes, como la computación en la nube y la inteligencia artificial en tiempo real, facilitarán una adopción más amplia de estas soluciones. Estas tendencias no solo mejorarán la calidad de

imagen y reducirán la dosis de radiación, sino que también podrán ampliar el uso de la IA en otros campos de la medicina por imágenes.

Figura 10

Proceso de Entrenamiento de la IA para la Reducción De Ruido



Nota. (Mohammadinejad et al., 2021).

Metodología

En este apartado del trabajo se explicaran las diferentes fases en las que se va a dividir el proyecto para una mejor comprensión, claridad y para la elaboración de los resultados:

Primera Fase

En esta se va a especificar el enfoque de la investigación, que en el caso de este trabajo, es de tipo cualitativo e implica tanto aspectos de búsqueda de material bibliográfico sobre trabajos de investigación y/o revistas donde se describan algoritmos de reconstrucción basados en IA, como en el análisis y selección de investigaciones que estén enfocadas en comparar estas herramientas con algoritmos tradicionales en estudios de TC de cráneo.

La investigación tiene como propósito principal evaluar y comparar la efectividad de los algoritmos basados en IA en la mejora de la calidad de imagen en estudios de TC de cráneo, en relación con los métodos tradicionales de retroproyección filtrada (FBP) y reconstrucción iterativa (IR), enfocándose en aspectos como la resolución espacial, la reducción de ruido, supresión de artefactos y en optimizar los tiempos de adquisición a la vez que se minimiza la dosis de radiación, con el objetivo de determinar su impacto en la calidad diagnóstica y la seguridad del paciente.

Segunda Fase

Se determinará la temática de investigación, estableciendo los objetivos específicos y la hipótesis que guiará el desarrollo del trabajo, que en este caso es sobre la optimización de parámetros de imagen mediante algoritmos de inteligencia artificial en tomografía computarizada de cráneo. Para ello se realiza la búsqueda de material bibliográfico en diferentes fuentes académicas mediante palabras claves relacionadas al tema de investigación de la siguiente manera: tomografía, estudios de cráneo, artefactos en tomografía, calidad de imagen; algoritmos

de reconstrucción, reconstrucción iterativa, retroproyección filtrada; Inteligencia artificial en tomografía, deep learning, redes convolucionales, TrueFidelity, AiCE.

De esta manera, la investigación de la literatura será más específica a medida que insertan palabras clave cada vez más relacionadas a la temática de investigación, y mediante la revisión exhaustiva del material bibliográfico encontrado, se seleccionarán los trabajos o revistas cuya temática sea la comparación de algoritmos de reconstrucción basados en IA con algoritmos tradicionales y en donde se mencione la mejora de la calidad de imagen en estudios de cráneo mediante algoritmos que utilicen deep learning como método de reconstrucción y reducción del ruido.

Tercera Fase. Será la evaluación del material bibliográfico seleccionado. Se centrará en analizar objetivamente la información escrita referente a la calidad de imagen que puede otorgar los algoritmos de IA. Se espera que las tecnologías de IA optimicen la adquisición de imágenes, reduciendo la dosis de exposición en los pacientes y permitiendo una identificación más precisa de las áreas de interés.

Cuarta Fase. Este trabajo culminará con un análisis comparativo de la efectividad de los algoritmos de IA en relación con los métodos tradicionales, evaluando su impacto en la calidad diagnóstica y la seguridad del paciente. En última instancia, se anticipa que la implementación de estas herramientas no solo mejorará la precisión diagnóstica, sino que también contribuirá a una atención médica más eficaz y centrada en la calidad.

Desarrollo del proyecto

Tabla 2

Literatura Revisada sobre Algoritmos de Reconstrucción en Tomografía

Titulo	Tipo de literatura	Resumen
Técnicas de reconstrucción iterativa para tomografía computarizada. Parte 1: principios técnicos.	Artículo de investigación de la revista european radiology.	Con el exponencial avance de los estudios de tomografía se han realizado estrategias encaminadas a la reducción tanto de la cantidad de estudios realizados como de la dosis de radiación recibida, ya sea a pacientes o técnicos. Entre estas propuestas se encuentra la adopción de algoritmos de reconstrucción basados en reconstrucción iterativa (IR), que a diferencia de la retroproyección filtrada (FBP), estos pueden generar imágenes de alta calidad con dosis de radiación más bajas. En este trabajo se explican los principios técnicos de la IR y los distintos algoritmos disponibles en el mercado desarrollados por las fabricantes más conocidas.
Algoritmos para el procesamiento de imágenes con artefactos de endurecimiento de haz en tomografía computarizada.	Artículo de investigación de la revista cubana de ciencias informáticas.	Las imágenes diagnosticas se han convertido en una herramienta imprescindible para la detección de patologías, la cantidad de información que puede suministrar una imagen en tomografía ha motivado al desarrollo de herramientas digitales que permitan mejorar la calidad y el procesamiento las mismas, sin embargo, ninguna imagen está libre de errores. Los artefactos en tomografía han sido una problemática común que afecta el correcto diagnóstico, distorsionan la imagen y perjudica su interpretación, un ejemplo común de estos es el endurecimiento del rayo, un artefacto que se presenta en estudios de cráneo y que distorsiona el parénquima cerebral. En este artículo se describen algoritmos de reconstrucción que sean capaces de mitigar este tipo de artefacto en el procesamiento de imágenes, analizando la adquisición, tratamiento de imagen, pre-procesado, uso de filtros, segmentación y bases matemáticas para la reconstrucción de la imagen.

Titulo	Tipo de literatura	Resumen
Implementación y análisis de la retroproyección filtrada en matlab utilizando un fantomas matemático.	Tesis de grado.	En el trabajo se propone la implementación de la retroproyección filtrada como algoritmo analítico en estudios de tomografía por emisión de fotón simple, para ello se utilizó el software de programación matlab para analizar el comportamiento y las variables del algoritmo en un fantoma matemático.

Nota. Autoría Propia.

Tabla 3

Literatura Revisada sobre Inteligencia Artificial en Tomografía

Titulo	Tipo de literatura	Resumen
CT noise-reduction methods for lower-dose scanning: strengths and weaknesses of iterative reconstruction algorithms and new techniques.	Artículo de investigación de la revista radiographics.	La tomografía computarizada (TC) ha adoptado la reconstrucción iterativa (IR) como el algoritmo más utilizado para mejorar la calidad de las imágenes, reduciendo el ruido y manteniendo bajas dosis de exposición en los pacientes. Sin embargo, este enfoque no lineal presenta desventajas, especialmente en estudios con bajas dosis, como el aumento del ruido y cambios en la textura de la imagen, lo que dificulta el diagnóstico. Ante este reto, se ha investigado la eficacia de diferentes algoritmos para reducir el ruido a distintas dosis de exposición, analizando los algoritmos avanzados disponibles en el mercado (AIDR-3D, SAFIRE, ASiR-V) para identificar sus ventajas y desventajas. Además, se exploran nuevas propuestas basadas en deep learning, como AiCE y TrueFidelity, y se comparan con los algoritmos de IR y MBIR en cuanto a su capacidad para mejorar la calidad de las imágenes.
Deep learning reconstruction versus iterative reconstruction for cardiac CT angiography in a stroke imaging protocol: reduced	Artículo de investigación de la revista quantitative imaging in medicine and surgery.	Este estudio cuantitativo/comparativo evaluó la calidad de imagen y la dosis de radiación en un protocolo de ACV utilizando dos algoritmos de reconstrucción: AIDR-3D (iterativo) y AiCE (deep learning). Se incluyó a 296 pacientes con sospecha de ACV, sometidos a un protocolo de tomografía computarizada (TC) en un

Titulo	Tipo de literatura	Resumen
radiation dose and improved image quality.		<p>equipo aquilion one génesis de Canon. El protocolo constó de cinco estudios: TC de cerebro simple, angio TC de cerebro y vasos supra aórticos, perfusión cerebral; angio TC coronaria y post contraste, y las imágenes fueron reconstruidas con AIDR-3D (143 casos) y AiCE (146 casos). Los radiólogos evaluaron el ruido de imagen, la relación señal/ruido, relación contraste/ruido y calidad subjetiva. Los resultados mostraron que el algoritmo AiCE basado en deep learning ofreció una mejor calidad de imagen, mejor relación señal/ruido y contraste/ruido, además de una reducción significativa en la dosis de radiación, demostrando ser más útil para el diagnóstico en protocolos de ACV.</p>
Deep learning versus iterative image reconstruction algorithm for head CT in trauma.	Artículo de investigación de la revista emergency radiology.	<p>La tomografía computarizada (TC) de cráneo es el método ideal para detectar lesiones cerebrales por su rapidez y sensibilidad, aunque puede presentar artefactos, como el endurecimiento del rayo, que dificultan la detección de lesiones pequeñas en el parénquima cerebral. Los avances en algoritmos de reconstrucción iterativa (IR) han reducido estos artefactos, pero persisten problemas de textura y resolución en estudios de baja dosis.</p> <p>Para abordar esta limitación, se ha adoptado la inteligencia artificial (IA) en reconstrucción de imágenes, mejorando la calidad con dosis reducidas. En un estudio realizado en 96 pacientes con traumatismo craneoencefálico, se compararon imágenes reconstruidas con IR (ASiR-V al 50%) y deep learning (TrueFidelity en niveles low, medium y high) utilizando un equipo revolution CT de General Electric.</p> <p>Los resultados favorecieron a los algoritmos de deep learning, destacando los niveles medium y high de TrueFidelity por su menor ruido, mejor contraste entre sustancia gris y blanca, y superior preservación de textura y calidad general frente a ASiR-V.</p>

Titulo	Tipo de literatura	Resumen
Ultra-high-resolution CT of the head and neck with deep learning reconstruction-assessment of image quality and radiation exposure and intraindividual comparison with normal-resolution CT.	Artículo de investigación de la revista diagnostics.	<p>Los avances en algoritmos de reconstrucción han permitido realizar estudios de tomografía computarizada (TC) de ultra alta resolución (UHR-CT), mejorando significativamente la calidad de las imágenes, especialmente en tejidos blandos para evaluar neoplasias. Este estudio comparó UHR-CT en algoritmos basados en deep learning (AiCE) frente a TC de resolución normal (NR-CT) en 40 pacientes con neoplasias de cabeza o cuello.</p> <p>Los estudios UHR-CT se realizaron con un equipo aquilion precision de Canon, evaluando ruido, nitidez, artefactos, relaciones señal/ruido y contraste/ruido, transición entre tejidos blandos y aceptabilidad diagnóstica. La revisión, a cargo de dos radiólogos con cinco años de experiencia, concluyó que UHR-CT con AiCE superó significativamente en calidad de imagen a NR-CT en todos los aspectos.</p> <p>Los beneficios incluyen mejor visualización de estructuras pequeñas, mayor precisión para detectar tumores en áreas complejas como la base del cráneo y una reducción en la dosis de radiación para los pacientes, demostrando la efectividad de la combinación de UHR con algoritmos de deep learning.</p>
Deep learning-based versus iterative image reconstruction for unenhanced brain CT: a quantitative comparison of image quality.	Artículo de investigación de la revista tomography.	<p>Este artículo comparó estudios de tomografía computarizada (TC) de cráneo sin contraste reconstruidos con algoritmos reconstrucción iterativa (AIDR-3D) y deep learning (AiCE), evaluando su rendimiento tanto en phantoms como en 100 pacientes con sospecha de traumatismo craneoencefálico o ACV. Los estudios se realizaron en un equipo aquilion one PRISM de Canon.</p> <p>Los resultados mostraron que las imágenes reconstruidas con AiCE presentaron una mejor relación señal/ruido, especialmente en el lóbulo frontal y ganglios basales, lo que destaca la eficacia de los algoritmos de deep learning</p>

Titulo	Tipo de literatura	Resumen
Image quality and lesion detection on deep learning reconstruction and iterative reconstruction of submillisievert chest and abdominal CT.	Artículo de investigación de la revista american journal of roentgenology.	<p>para detectar lesiones sutiles, como isquemias y hemorragias en escenarios de urgencia.</p> <p>No obstante, AiCE enfrenta desafíos en estructuras como la fosa craneal posterior debido al nivel de artefactos y la complejidad anatómica de esta región, lo que requiere precaución en el diagnóstico.</p> <p>El aumento de los estudios de tomografía ha impulsado la búsqueda de técnicas para reducir la dosis de radiación sin comprometer la calidad de las imágenes diagnósticas. Aunque los algoritmos de IR avanzados, como AIDR-3D, ASiR-V y FIRST, han mejorado la calidad con bajas dosis, presentan limitaciones en la detección de patologías con exposiciones muy reducidas (submillisievert). Esto ha llevado al desarrollo de algoritmos basados en inteligencia artificial, como AiCE, para generar imágenes de mayor calidad con dosis más bajas.</p> <p>En este estudio, se compararon AIDR-3D y FIRST con AiCE en tomografías contrastadas de tórax (22) y abdomen (37) realizadas a 59 pacientes utilizando un equipo Aquilion One. Las imágenes fueron evaluadas por radiólogos especializados en tórax y abdomen, con experiencia de entre 10 y 22 años.</p> <p>Los resultados demostraron que AiCE ofrece una calidad de imagen significativamente superior, tanto cualitativa como cuantitativamente, en comparación con los algoritmos de IR. Este avance optimiza los estudios con bajas dosis de exposición, mejorando la detección de lesiones en tórax y abdomen.</p>

Nota. Autoría Propia.

Análisis y Resultados de la Literatura Revisada: Optimización Basada en Algoritmos de IA para la Mejora de la Calidad de Imagen en Tomografía Computarizada de Cráneo: Eficiencia y Reducción de Ruido

Como se ha mencionado anteriormente, la tomografía de cráneo se ha convertido en el estudio predilecto para el diagnósticos de lesiones y patologías del encéfalo; el avance en la tecnología de los equipos, los costos y rapidez en la que se realiza el estudio ha resultado en el aumento del número de exámenes que solicitan este tipo de protocolos. Esto ha llevado a que se tenga especial atención en el manejo de las técnicas de exposición utilizadas para este procedimiento, pues es de conocimiento general con cualquiera que este familiarizado con la radiología, que la tomografía requiere exponer al paciente a elevadas dosis de radiación para poder generar imágenes con optimas cualidades diagnósticas, entiéndase estas como: la resolución, contraste, relación señal/ruido, relación contraste/ruido, etc. A cambio de este riesgo en el paciente, se obtienen imágenes con alta información anatómica que pueden cambiar el rumbo y manejo de un caso clínico y salvar una vida.

Varias son las formas en las que se puede reducir la dosis de radiación en un estudio para evitar sobre exponer a un paciente y reducir su calidad de vida en el futuro, algunas de las técnicas externas más comúnmente planteadas, es optar por estudios alternativos que no utilicen radiación ionizante (como la resonancia), seguir en concepto de ALARA (tan bajo como sea razonablemente posible), reducir los parámetros del equipo (mAs, Kvp, grosor e intervalo de corte, pitch, etc.) y realizar la adquisición del estudio lo más rápido posible. Por otro lado, a nivel comercial se ha optado por optimizar los algoritmos de reconstrucción que permiten la adquisición de las imágenes, pues la mejora de esta tecnología puede resultar en la reconstrucción de imágenes con poco ruido, de buena calidad y con dosis de radiación bajas.

Análisis de los Algoritmos Basados en IR

Con la adopción de los algoritmos de reconstrucción iterativa (IR), los cuales han remplazado a la retroproyección filtrada (FBP) gracias a su capacidad para reducir el ruido mediante la optimización de datos de proyección por medio de la iteración entre dos diferentes dominios (raw data e image data domain), en donde se compara y modifica la información, alternándose entre cada dominio mediante reconstrucción hacia adelante y hacia atrás hasta que se cumplan los criterios u objetivos planteados, que en este caso es la preservación de bordes y reducción del ruido. Este modelo base le ha servido a los fabricantes para investigar más a fondo estos algoritmos y crear versiones más eficaces de los mismos, ejemplos de esto es la reconstrucción iterativa basada en modelos (MBIR) y los IR híbridos que se implementa en algoritmos como SAFIRE, FIRST, ASiR-V, AIDR-3D, etc. Los cuales son capaces de producir imágenes de alta calidad con dosis de radiación muy reducidas.

Es así que la mejora en este tipo de algoritmos ha traído consigo múltiples beneficios para la calidad de la imagen, pues un manejo más eficiente en el sistema del tomógrafo permite, por ejemplo, controlar parámetros como la dosis de radiación en función al grosor del cuerpo, como se menciona en (Mohammadinejad et al., 2021):

Potencialmente reduce los artefactos y mejora la eficiencia de la dosis. La información previa, como la suavidad del objeto en regiones locales, se puede incluir para reducir el ruido de la imagen al tiempo que se preserva la nitidez de los límites estructurales.

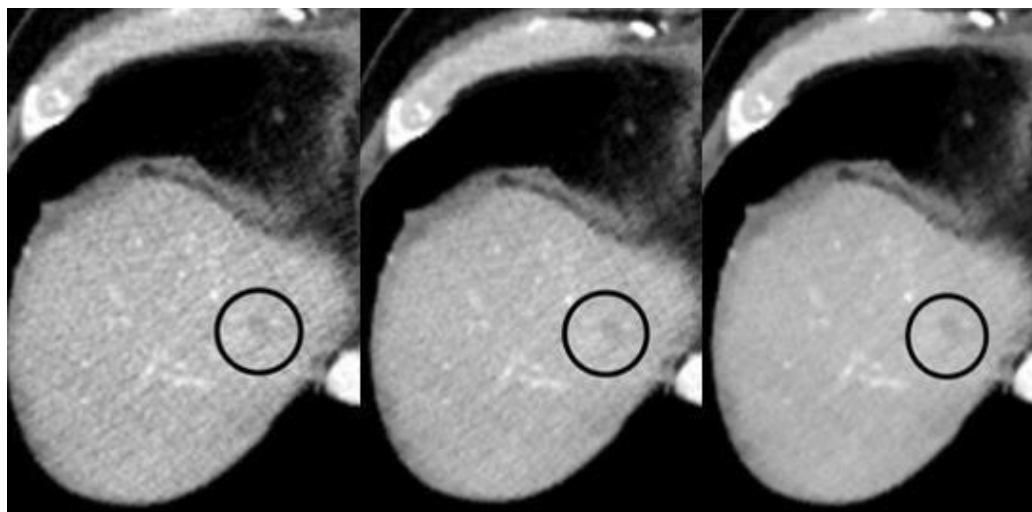
Además, los algoritmos IR pueden manejar fácilmente geometrías de escaneo irregulares, incluso si la adquisición de datos no sigue la geometría axial o helicoidal tradicional (p. 1495).

A pesar de las ventajas que trae el uso de algoritmos basados en IR, también se han presentado nuevas desventajas relacionadas con el tiempo y la calidad de imagen en este tipo de herramientas, como en el caso de los MBIR, que tenían tiempos de reconstrucción muy largos y

hacían imposible su implementación en espacios de trabajo con alto flujo de pacientes. Si bien con el tiempo este problema se fue compensando, surgieron otros desafíos relacionados con los estudios realizados a bajas dosis de radiación, pues la resolución espacial era una cualidad dependiente del contraste en las imágenes reconstruida con IR, dificultando así la capacidad diagnóstica en imágenes de bajo contraste como tejidos blandos con lesiones cuyos límites eran poco marcados, además, algunos algoritmos de IR provocan una textura plástica, borrosa o manchada en la imagen.

Figura 11

TC de Abdomen Contrastado Reconstruido con IR Híbrido SAFIRE



Nota: En la imagen se muestra al hígado con una lesión hipo-densa, reconstruido en diferentes intensidades del algoritmo SAFIRE (1, 3 y 5), a medida que la intensidad aumenta, la textura manchada se va haciendo más evidente. (Mohammadinejad et al., 2021).

Desventajas de la IR. Los algoritmos de reconstrucción convencionales como AIDR-3D, SAFIRE, ASiR-V y FBP, presentan varias desventajas en comparación con los algoritmos de

reconstrucción basados en inteligencia artificial (IA) como el advanced intelligent clear-IQ engine (AiCE), entre las que se encuentran:

Calidad de Imagen. Los métodos convencionales como la FBP tienden a generar imágenes con mayor ruido y son más propensos a distorsiones por baja dosis de radiación, lo que da lugar a artefactos de reconstrucción como el efecto de anillo (ringing) o de raya (streak) en las imágenes. Esto se debe a que la FBP no tiene la capacidad de adaptarse de manera eficiente a diferentes condiciones de adquisición de datos, como el ruido o artefactos en estructuras de alta densidad por la baja calidad de datos obtenidos con dosis de radiación reducidas.

Eficiencia Computacional. Aunque los algoritmos de IR como SAFIRE, AIDR-3D y ASiR-V tienen como principal objetivo reducir la dosis de radiación mientras mantiene la calidad de la imagen, puede ser más lentos en comparación a otros métodos convencionales como la FBP o de IA debido al proceso iterativo que implica más cálculos, además, requiere un hardware y equipos de procesamiento de mayor capacidad para funcionar de manera óptima.

Detección de Lesiones. Si bien los algoritmos de IR avanzados son efectivos para reducir el ruido en la imagen y mejorar la resolución espacial, lo que permite detectar detalles pequeños o sutiles, se ha demostrado que el uso de estos en estudios con bajas dosis de radiación pueden producir cambios en la textura debido a una sobre corrección de las imágenes, especialmente en áreas de transición o en estructuras de baja densidad, lo que puede resultar en una interpretación errónea de las imágenes.

Algoritmos Basados en IA: Ventajas y Desventajas

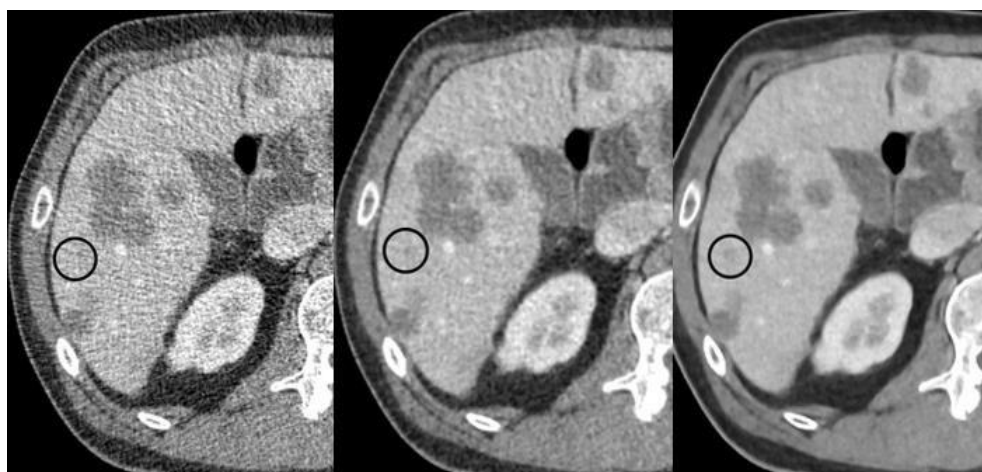
Más recientemente la inteligencia artificial ha tomado relevancia para el desarrollo de algoritmos basados en deep learning (DL), el uso de redes convolucionales capaces de simular las redes neuronales del cerebro humano ha permitido la creación de algoritmos en tomografía

capaces de adaptarse a diferentes tareas mediante un intenso entrenamiento con imágenes de alto ruido, y ejemplos de imágenes estándar que sirvan de referencia para extraer las características deseadas en futuras reconstrucciones de baja calidad o dosis de exposición, tal y como menciona Mohammadinejad et al. (2021) “Durante el procedimiento de optimización o entrenamiento, un algoritmo ajusta automáticamente los parámetros de la CNN para extraer características de la imagen relevantes para la tarea en cuestión” (p. 1502).

Los resultados de los algoritmos que utilizan deep learning para reconstruir imágenes de tomografía han sido prometedores, no solo pueden reducir el ruido, sino que también son capaces de hacerlo incluso en estudios tomados con dosis de radiación muy reducidas sin comprometer la textura de la imagen, manteniendo la naturalidad de la misma y conservando la resolución espacial a diferencia de otros algoritmos de IR. Además, el procesamiento y reconstrucción de datos es más eficiente, permitiendo generar imágenes en tiempos muy cortos que pueden ser ideales para su uso en espacios con alto flujo de pacientes.

Figura 12

TC de Abdomen Realizado con Diferentes Algoritmos de Reconstrucción



Nota. Las imágenes fueron realizadas con dosis de radiación muy bajas y utilizando tres algoritmos de reconstrucción diferentes (de izquierda a derecha) FBP, AIDR-3D y AiCE. Se

puede evidenciar como la última imagen reconstruida con IA (AiCE) muestra una calidad superior, no solo redujo significativamente el ruido, sino que muestra con mayor claridad las lesiones hipo-densas del hígado. (Mohammadinejad et al. 2021).

Los estudios que utilizan algoritmos de reconstrucción basados en inteligencia artificial (IA) han demostrado varias ventajas significativas en la calidad de las imágenes de tomografía computarizada (TC). En el estudio de (Singh et al., 2020), donde se compara la calidad de imagen y la detección de lesiones en tomografías computarizadas (TC) de tórax y abdomen utilizando algoritmos de reconstrucción basado en deep learning (DL) advanced intelligent clear-IQ engine (AiCE), y reconstrucción iterativa (IR) a dosis submilisievert, se observó una notable reducción del ruido en las imágenes, mejorando así la resolución y claridad de las estructuras anatómicas. Además, este enfoque ayudó a minimizar artefactos y a mantener una textura de imagen más natural, similar a las imágenes obtenidas con métodos tradicionales como la retroproyección filtrada (FBP), pero con dosis de radiación significativamente menores. Esto se traduce en una mejor capacidad para detectar lesiones clínicamente significativas, lo que es crucial para un diagnóstico preciso y oportuno. En comparación con otros métodos como la reconstrucción iterativa (IR) y FBP, los algoritmos con DL demuestran ser superiores en términos de calidad de imagen y eficacia diagnóstica, lo que subraya el potencial transformador de la IA en la práctica clínica de la radiología.

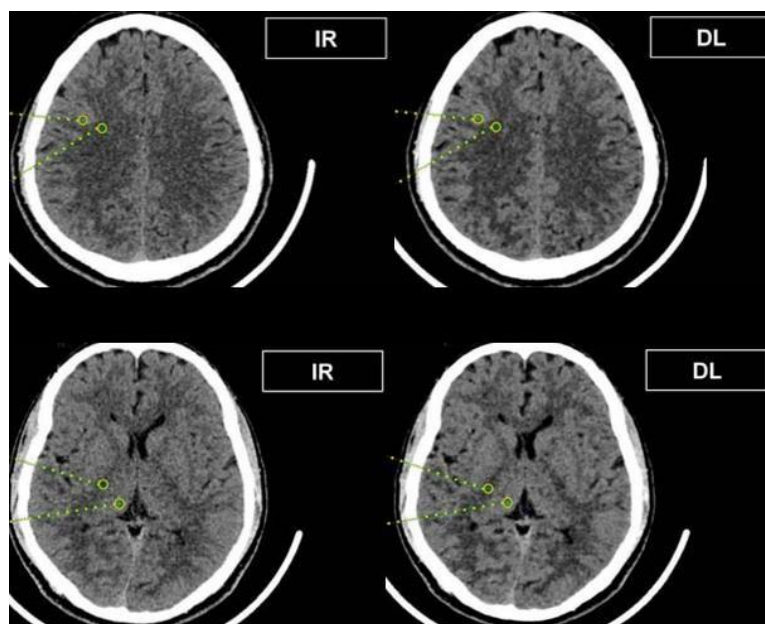
En estudios de tomografía de cráneo el uso de algoritmos basados en IA puede traer ventajas en relación a la cantidad de información que puede proporcionar este tipo de imágenes, la capacidad que tienen para mantener la resolución y contraste de los tejidos blandos puede

ayudar identificar patologías en estructuras complejas en las que fácilmente se puede pasar alto alteraciones como isquemias, hemorragias o edemas.

Estos algoritmos de reconstrucción basados en inteligencia artificial (IA) pueden mejorar significativamente la calidad de imagen en TC de cráneo al abordar varios problemas asociados con la adquisición de imágenes, como el ruido y los artefactos. En particular, el uso de técnicas como AiCE permite una reducción efectiva del ruido, lo que resulta en imágenes más nítidas y claras. Esto se debe a que estos algoritmos son capaces de diferenciar entre la señal útil y el ruido durante el proceso de reconstrucción, mejorando así la relación señal-ruido (SNR) sin comprometer la resolución espacial. A diferencia de los métodos convencionales como la retroproyección filtrada (FBP), que tienden a generar imágenes con mayor ruido y artefactos a dosis reducidas, los algoritmos de IA pueden mantener detalles importantes en las estructuras anatómicas, lo que es crucial para el diagnóstico preciso de lesiones cerebrales.

Figura 13

TC de Cráneo Reconstruido con AIDR-3D y AiCE



Nota. (Cozzi et al., 2023).

Sin embargo, los algoritmos de reconstrucción basados en IA aun presentan algunas desventajas al momento de reconstruir imágenes de cráneo, en el estudio realizado por (Cozzi et al., 2023) se mencionan algunos problemas como la preservación en el índice de artefactos en imágenes hechas con AiCE a nivel de la fosa craneal posterior, esta zona es descrita como una región donde predominan varias estructuras óseas y anatómicas delicadas, y que pueden ser de importancia para el diagnóstico de eventos hemorrágicos e isquémicos, lo que puede suponer un desafío para este tipo de algoritmos. Otra desventaja que se tiene de estos algoritmos es el riesgo de fallar al momento de reconstruir imágenes que se alejan de los modelos de referencia utilizados para su entrenamiento, en este sentido la IA puede ser potencialmente frágil por el mismo hecho de aprender de forma autónoma, haciendo que la codificación de datos se realice mediante reglas abstractas que están en constante cambio, lo que dificulta la anticipación de posibles errores y que a su vez estos sean difíciles de comprender para el humano.

A pesar de estas desventajas, la capacidad para reconstruir imágenes de alta resolución con bajos niveles de ruido utilizando dosis de radiación más bajas que los estudios promedio, demuestra el potencial de estas herramientas para su uso clínico y diagnóstico frente a otros algoritmos convencionales, si bien aún hay desafíos para reducir los artefactos en estructuras cuyo contraste entre tejidos es muy heterogéneo (como entre la bóveda craneal y el cerebro) el suficiente entrenamiento de la IA puede reducir este tipo de problemáticas, lo que no supone una limitante para estos algoritmos, pues su capacidad para adaptarse mediante la generación autónoma de reglas le permite producir resultados óptimos en las imágenes, que se evidencia en un nivel de ruido menor, mayor resolución espacial y una textura más natural de la imagen con niveles de radiación más bajos que puede hacer de los estudios de tomografía una opción más asequible para los pacientes.

Conclusiones

Con base en los resultados y análisis desarrollados, se puede concluir que los algoritmos de inteligencia artificial (IA) están revolucionando la tomografía computarizada (TC) al mejorar la calidad de imagen y optimizar los procesos diagnósticos. Los algoritmos con DLR, como Advanced Intelligent Clear-IQ Engine (AiCE) y TrueFidelity permiten una notable reducción del ruido y la mejora de la resolución de las imágenes, lo que facilita la detección temprana de patologías que podrían pasar desapercibidas con métodos convencionales. A medida que la tecnología avanza, se espera que los algoritmos de IA se integren aún más en los flujos de trabajo clínicos, proporcionando diagnósticos más precisos y rápidos, aliviando la carga de trabajo de los radiólogos y mejorando la atención al paciente. El futuro de los algoritmos de reconstrucción con DLR en tomografía tiene el potencial para optimizar no solo la calidad de las imágenes, sino también la eficiencia y efectividad del diagnóstico médico en general.

Asimismo, la mejora significativa de la precisión, velocidad y eficiencia en el procesamiento de imágenes médicas, hace de la DLR una herramienta particularmente útil en el contexto de la tomografía de cráneo, ya que puede aprender patrones complejos y aplicar este conocimiento a nuevas imágenes, mejorando la precisión de los diagnósticos al optimizar la calidad de las imágenes a la vez que reduce la dosis de radiación y facilita la detección temprana de enfermedades. En el futuro, se espera que la IA continúe avanzando e integrándose de manera más profunda con la tomografía computarizada y otros métodos de imagen, permitiendo una personalización del tratamiento médico y mejorando la planificación quirúrgica con un enfoque más predictivo y preventivo en la atención de la salud. La automatización en el análisis de imágenes permitirá a los profesionales médicos centrarse más en el diagnóstico y la toma de decisiones clínicas, mejorando la atención al paciente y reduciendo errores humanos.

Referencias Bibliográficas

- Aguirre , F., Carballo, L., González, X., & Girgirey, V. (2021). Inteligencia Artificial Aplicada a la Imagen Medica. *Revista Imagenología*, 24(2), 47-58.
<https://www.sriuy.org.uy/ojs/index.php/Rdi/article/view/94>
- Alagic, Z., Diaz Cardenas, J., Halldorsson, K., Grozman, V., Wallgren, S., Suzuki, C., . . . Koskinen, S. (2022). Deep learning versus iterative image reconstruction algorithm for head CT in trauma. *Emergency Radiology*, 29(2), 339–352.
<https://doi.org/10.1007/s10140-021-02012-2>
- Altmann, S., Abello Mercado, M., Ucar, F., Kronfeld, A., Al-Nawas, B., Mukhopadhyay, A., . . . Othman., O. (2023). Ultra-High-Resolution CT of the Head and Neck with Deep Learning Reconstruction—Assessment of Image Quality and Radiation Exposure and Intraindividual Comparison with Normal-Resolution CT. *Diagnostics (Basel)*, 13(9), 2-15. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13091534>
- Bajaj, S., Khunte, M., Moily, N., Payabvash, S., Wintermark, M., Gandhi, D., & Malhotra, A. (2023). Value Proposition of FDA-Approved Artificial Intelligence Algorithms for Neuroimaging. *Journal of the American College of Radiology*, 20(12), 1241-1249.
<https://doi.org/10.1016/j.jacr.2023.06.034>
- Baptiste, J., Nett, B., Tang, J., & Liu, E. (2022). *TrueFidelity™for Gemstone™Spectral Imaging*. Gehealthcare.com: https://www.gehealthcare.com/-/jssmedia/gehc/us/images/products/computed-tomography/truefidelity/related-content/new/truefidelity-for-gsi-whitepaper_digital_jb19879xx_final.pdf?rev=-1
- Benitez, E. (2017). *Implementación y análisis de la Retroproyección filtrada en Matlab utilizando un fantomas matemático*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de San

- Martín]. Repositorio Institucional de la UNSAM.
<https://ri.unsam.edu.ar/handle/123456789/62>
- Bernard, A., Comby, P., Lemogne, B., Haioun, K., Ricolfi, F., Chevallier, O., & Loffroy, R. (2021). Deep learning reconstruction versus iterative reconstruction for cardiac CT angiography in a stroke imaging protocol: reduced radiation dose and improved image quality. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, *11(1)*, 392–401.
<https://doi.org/10.21037/qims-20-626>
- Boedeker, K. (2017). *AiCE Deep Learning Reconstruction: Bringing the power of Ultra-High Resolution CT to routine imaging*. Canon Medical Systems Corporation:
https://eu.medical.canon/publication/ct/2019WP_AiCE_Deep_Learning
- Cabrera, C. (26 de Octubre de 2015). *Reconstrucción iterativa TC* [Presentación de diapositivas]. Slideshare: <https://es.slideshare.net/slideshow/reconstruccion-iterativa-tc/54385986>
- Calzado, A., & Geleijns, J. (2010). Tomografía computarizada. Evolución, principios técnicos y aplicaciones. *Revista Fisica Medica*, *11(3)*, 163-180.
<https://revistadefisicamedica.es/index.php/rfm/article/view/115>
- Challapa , B. (29 de Septiembre de 2023). *FM 0581E.09.23 Scanner Canon Aquilion Serve. Dr.Pablo Delgado*. Studocu: <https://www.studocu.com/cl/document/universidad-de-tarapaca/tecnicas-radiograficas/fm-0581e0923-scanner-canon-aquilion-serve-drpablo-delgado/89021934>
- Chillarón, M. (2021). *Análisis y desarrollo de algoritmos de altas prestaciones para reconstrucción de imagen médica TAC 3D basados en la reducción de dosis*. [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València]. Repositorio Institucional UPV.
<https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/180116>

Cozzi, A., Cè, M., De Padova, G., Libri, D., Caldarelli, N., Zucconi, F., . . . Cellina, M. (2023).

Deep Learning-Based Versus Iterative Image Reconstruction for Unenhanced Brain CT: A Quantitative Comparison of Image Quality. *Tomography*, 9(5), 1629–1637.

<https://doi.org/10.3390/tomography9050130>

Falcon, C. (1999). *Métodos iterativos de reconstrucción tomográfica en SPECT*. [Memoria presentada para optar al título de doctor en ciencias físicas, Universitat de Barcelona].

Repositorio Tesis Doctorals en Xarxa. <http://www.tdx.cat/TDX-0328111-130049>

Hernandez , V., & Fernandez, Y. (2021). Algoritmos para el procesamiento de imágenes con artefactos de endurecimiento de haz en tomografía computarizada. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 15(2), 96-117.

<https://www.redalyc.org/journal/3783/378367420006/html/>

Iglesias, D. (2023). Impacto de la Inteligencia Artificial en la Radiología. *Revista Cubana de Informática Médica*, 15(1). <http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1684->

[18592023000100013&script=sci_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1684-18592023000100013&script=sci_arttext)

Jiménez , D., Henao , S., Castro , A., Duque , L., & Nieto, D. (2023). Segmentación de tejido cerebral mediante redes neuronales convolucionales basadas en U-Net. *Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información*(52), 5-24. [https://scielo.pt/pdf/rist/n52/1646-](https://scielo.pt/pdf/rist/n52/1646-9895-rist-52-5.pdf)

[9895-rist-52-5.pdf](https://scielo.pt/pdf/rist/n52/1646-9895-rist-52-5.pdf)

Mohammadinejad, P., Mileto, A., Yu, L., Leng, S., Guimaraes, L., Missert, A., . . . Fletcher, J.

(2021). CT Noise-Reduction Methods for Lower-Dose Scanning: Strengths and Weaknesses of Iterative Reconstruction Algorithms and New Techniques.

RadioGraphics, 41(5), 1493-1508. <https://doi.org/10.1148/rg.2021200196>

- Núñez , M. (2012). *Reconstrucción Iterativa*. [Presentacion de diapositivas]. Humanhealth.iaea.
https://humanhealth.iaea.org/HHW/Technologists/NuclearMedicineTech/Educationalresources/sao_paulo2012/Reconstruccion_Iterativa.pdf
- Ohno , Y., Takenaka, D., Kanda, T., Yoshikawa, T., Matsumoto, S., Sugihara, N., & Sugimura, K. (2012). Adaptive Iterative Dose Reduction Using 3D Processing for Reduced- and Low-Dose Pulmonary CT: Comparison With Standard-Dose CT for Image Noise Reduction and Radiological Findings. *American Journal of Roentgenology*, *199(4)*, 477-485. <https://doi.org/10.2214/AJR.11.8275>
- Puentes, G., Salinas, E., & Adolfo, G. (2021). Inteligencia artificial y radiología: la disrupción tecnológica en la transformación de un paradigma. *Revista Medicina*, *43(4)*, 594-605. <https://doi.org/10.56050/01205498.1648>
- Sartori, P., Rozowykniat, M., Siviero, L., Barba, G., Peña, A., Mayol, N., . . . Ortiz, A. (2015). Artefactos y artificios frecuentes en tomografía computada y resonancia magnética. *Revista Argentina de Radiología*, *79(4)*, 192-204. <https://doi.org/10.1016/j.rard.2015.04.005>
- Singh, R., Digumarthy , S., Muse, V., Kambadakone, A., Blake, M., Tabari, A., . . . Kaira, M. (2020). Image Quality and Lesion Detection on Deep Learning Reconstruction and Iterative Reconstruction of Submillisievert Chest and Abdominal CT. *American Journal of Roentgenology*, *214(3)*, 566-573. <https://doi.org/10.2214/AJR.19.21809>
- Varela, A., Martínez, C., Muñoz, R., Torres, R., Orellana, F., Lamus, L., & Herrera, P. (2019). Algoritmo para la tomografía secuencial de cráneo en pacientes con traumatismo encéfalocraneano. *Revista Chilena de Neurocirugía*, *42(1)*, 44–30. <https://doi.org/10.36593/rev.chil.neurocir.v42i1.89>

Willemink, M., de Jong, P., Leiner, T., de Heer, L., Nievelstein, R., Budde, R., & Schilham, A. (2013). Iterative reconstruction techniques for computed tomography Part 1: technical principles. *European Radiology*, 23(6), 1623-1631. <https://doi.org/10.1007/s00330-012-2765-y>