

Innovaciones en Imagen Médica: Inteligencia Artificial, Integración Multimodal y Práctica Clínica



*Andres Bolivar Chica Estrella
José Samuel Vaque Ramírez
Alfredo Mauricio Ordóñez Saa
Santiago Adrian Blacio Reyes
Karla Natasha Panchez Rugel*



La Nueva Frontera de la Precisión: Radiología Intervencionista Guiada por Inteligencia Artificial y Realidad Aumentada

Autor: Andres Bolivar Chica Estrella

Médico Universidad Católica de Santiago de Guayaquil

Médico Residente Omni Hospital

Definición

La Radiología Intervencionista (RI) ha emergido como una de las disciplinas médicas más dinámicas y de rápida evolución, ofreciendo alternativas mínimamente invasivas a la cirugía tradicional para una amplia gama de patologías. En su núcleo, la RI utiliza la guía por imágenes en tiempo real, como la fluoroscopia, la tomografía computarizada (TC) y el ultrasonido, para navegar instrumentos diminutos a través del cuerpo y tratar enfermedades en su origen.

La confluencia de la RI con tecnologías de vanguardia como la Inteligencia Artificial (IA) y la Realidad Aumentada (RA) está catalizando una transformación sin precedentes en este campo. Esta sinergia da lugar a la Radiología Intervencionista guiada por Inteligencia Artificial y Realidad Aumentada, una subespecialidad que promete redefinir los límites de la precisión, la seguridad y la eficacia de los procedimientos.

La Inteligencia Artificial en este contexto se refiere al uso de algoritmos y modelos computacionales para analizar grandes volúmenes de datos de imágenes médicas. Sus aplicaciones abarcan desde la segmentación automática y precisa de tumores y vasos sanguíneos, la predicción de la respuesta al tratamiento, hasta la optimización de la planificación del procedimiento. Por su parte, la Realidad Aumentada superpone información digital, como modelos 3D de la

anatomía del paciente o la trayectoria planificada de una aguja, directamente sobre el campo de visión del médico durante la intervención. Esta superposición crea un entorno enriquecido que mejora la percepción espacial y la coordinación mano-ojo del radiólogo intervencionista.

En conjunto, la IA y la RA no solo asisten al médico, sino que potencian sus habilidades, permitiendo intervenciones más personalizadas, con menor exposición a la radiación y con resultados potencialmente superiores.

Epidemiología

La relevancia de la Radiología Intervencionista guiada por IA y RA radica en su aplicabilidad a un espectro de enfermedades con una carga de morbilidad y mortalidad significativa a nivel global y en Ecuador. Aunque las

estadísticas específicas sobre el uso de estas tecnologías avanzadas en el país son aún incipientes, la epidemiología de las patologías que tratan subraya su importancia potencial.

Las enfermedades oncológicas, en particular el carcinoma hepatocelular (CHC), y la enfermedad arterial periférica (EAP) son dos de las áreas donde la RI avanzada tiene un impacto considerable.

En Ecuador, el cáncer es una de las principales causas de muerte. Según datos de GLOBOCAN, en 2020 se estimó una incidencia de más de 29,000 nuevos casos de cáncer. El cáncer de hígado, aunque no es el más frecuente, tiene una alta letalidad. A nivel nacional, la cirrosis hepática, un precursor principal del CHC, representa una causa importante de mortalidad. Un estudio sobre la tendencia de mortalidad por cirrosis hepática en Ecuador entre 2011 y 2020 reportó miles de fallecidos,

evidenciando la magnitud del problema de la enfermedad hepática crónica. Los principales factores de riesgo para el CHC en la región son la infección crónica por el virus de la hepatitis B y C, y el consumo de alcohol.

Por otro lado, las enfermedades no transmisibles, incluyendo las enfermedades cardiovasculares como la EAP, son la principal causa de mortalidad en Ecuador, representando más del 70% del total de las muertes según la Organización Panamericana de la Salud (OPS). La prevalencia de factores de riesgo como la diabetes, la hipertensión arterial, el tabaquismo y la dislipidemia es alta en la población ecuatoriana. Estudios locales han caracterizado los factores de riesgo aterosclerótico en pacientes con pie diabético, una complicación severa de la EAP, destacando la hipertensión y el tabaquismo como los de mayor incidencia. La prevalencia de pie

diabético, una manifestación tardía de la EAP, se estimó en un 2.27% en Ecuador hasta 2021, lo que sugiere una población considerable en riesgo de enfermedad vascular avanzada que podría beneficiarse de intervenciones endovasculares precisas.

Fisiopatología

La comprensión de la fisiopatología de las enfermedades tratadas es fundamental para apreciar el valor de la IA y la RA en la Radiología Intervencionista.

Carcinoma Hepatocelular (CHC): El CHC se desarrolla comúnmente en el contexto de una enfermedad hepática crónica y cirrosis. La inflamación crónica y la regeneración celular anormal conducen a mutaciones genéticas y a la formación de nódulos displásicos que progresan a carcinoma. Una característica distintiva del CHC es su vascularización predominantemente arterial.

Mientras que el parénquima hepático sano recibe la mayor parte de su flujo sanguíneo de la vena porta, los tumores hepáticos desarrollan una neovascularización anómala a partir de la arteria hepática. Esta particularidad es la base para tratamientos como la quimioembolización transarterial (TACE), que busca administrar agentes quimioterapéuticos directamente en el tumor a través de la arteria hepática, bloqueando al mismo tiempo su suministro de sangre.

Enfermedad Arterial Periférica (EAP): La EAP es una manifestación de la aterosclerosis sistémica, un proceso inflamatorio crónico caracterizado por la acumulación de lípidos, células inflamatorias y tejido fibroso en las paredes de las arterias, formando placas ateroscleróticas. Estas placas pueden crecer y estrechar la luz del vaso (estenosis) o romperse, llevando a la formación de un trombo que puede ocluir completamente la arteria. La

reducción del flujo sanguíneo a las extremidades inferiores provoca isquemia, que se manifiesta clínicamente como claudicación intermitente (dolor al caminar) y, en casos severos, dolor en reposo, úlceras que no cicatrizan y gangrena, pudiendo requerir amputación.

Cuadro Clínico

El cuadro clínico de los pacientes que son candidatos a procedimientos de RI guiados por IA y RA varía según la patología de base.

Pacientes con Carcinoma Hepatocelular: Muchos pacientes con CHC en estadios tempranos pueden ser asintomáticos, y el diagnóstico se realiza a menudo durante el seguimiento de su enfermedad hepática crónica. En estadios más avanzados, los síntomas pueden incluir dolor en el hipocondrio derecho, pérdida de peso inexplicada, ictericia (coloración amarillenta de

la piel y los ojos), ascitis (acumulación de líquido en el abdomen) y fatiga. Los candidatos para tratamientos locorreregionales como la TACE o la ablación percutánea son típicamente aquellos con tumores confinados al hígado, no susceptibles de resección quirúrgica o trasplante, y con una función hepática conservada.

Pacientes con Enfermedad Arterial Periférica: El síntoma clásico de la EAP es la claudicación intermitente, que se describe como un dolor, calambre o fatiga en los músculos de las piernas (generalmente en las pantorrillas) que se desencadena con el ejercicio y se alivia con el reposo. A medida que la enfermedad progresa, los pacientes pueden experimentar dolor en reposo, especialmente por la noche, que mejora al colgar las piernas fuera de la cama. Otros signos incluyen frialdad en los pies, cambios en el color de la piel,

pérdida de vello en las extremidades y desarrollo de úlceras arteriales dolorosas o gangrena.

Diagnóstico

El diagnóstico preciso es el pilar sobre el que se construye un plan de tratamiento exitoso en Radiología Intervencionista. La IA y la RA están revolucionando esta fase crucial.

El diagnóstico del CHC se basa en estudios de imagen como la ecografía, la tomografía computarizada (TC) multifásica y la resonancia magnética (RM) con contraste. La IA juega un papel cada vez más importante en este proceso:

- **Segmentación Automática:** Algoritmos de aprendizaje profundo (deep learning) pueden identificar y delinear con precisión los tumores hepáticos en las imágenes de TC y RM. Esto no

solo ahorra un tiempo considerable al radiólogo, sino que también proporciona mediciones volumétricas objetivas y reproducibles del tumor, cruciales para la estadificación y la evaluación de la respuesta al tratamiento.

- **Caracterización de Lesiones:** La IA puede analizar las características de la textura y el realce del tumor en las imágenes para ayudar a diferenciar entre lesiones benignas y malignas, e incluso predecir el grado de agresividad del tumor.

Para la EAP, el diagnóstico inicial se realiza mediante la historia clínica y el examen físico, incluyendo la palpación de los pulsos y el cálculo del índice tobillo-brazo (ITB). Los estudios de imagen como el eco-Doppler, la angiotomografía y la angiorresonancia

son fundamentales para localizar y cuantificar la severidad de las estenosis y oclusiones arteriales.

- **Análisis de Flujo Sanguíneo:** La IA puede analizar las imágenes de eco-Doppler para cuantificar de forma automática los parámetros del flujo sanguíneo y mejorar la detección de estenosis significativas.
- **Visualización 3D con RA:** La RA permite a los cirujanos vasculares y radiólogos intervencionistas visualizar modelos tridimensionales de la anatomía vascular del paciente, superpuestos al propio paciente o en un espacio virtual, facilitando la comprensión de la compleja anatomía de las lesiones y la planificación de la estrategia de revascularización.

Tratamiento

Es en la fase de tratamiento donde la sinergia entre la RI, la IA y la RA alcanza su máximo potencial, transformando procedimientos complejos en intervenciones más seguras y precisas.

Tratamiento del Carcinoma Hepatocelular:

- **Planificación de la TACE con IA:** Antes del procedimiento de TACE, los algoritmos de IA pueden analizar las imágenes de TC o RM para segmentar el tumor y los vasos sanguíneos que lo irrigan. Esto permite al radiólogo intervencionista planificar la ruta óptima del catéter y determinar la dosis de quimioterapia y el agente embólico más adecuados para cada paciente, personalizando el tratamiento.

- **Guía de Ablación con RA:** Durante la ablación percutánea de tumores hepáticos, la RA puede superponer un modelo 3D del tumor, obtenido de las imágenes preoperatorias, directamente sobre la imagen de ultrasonido en tiempo real. Esta "visión de rayos X" virtual guía al médico para colocar la aguja de ablación en el centro exacto del tumor, asegurando una destrucción completa del tejido maligno y minimizando el daño al tejido hepático sano circundante.

Tratamiento de la Enfermedad Arterial Periférica:

- **Navegación de Catéteres con RA:** En los procedimientos endovasculares como la angioplastia y la colocación de stents, la RA puede proporcionar una "hoja de ruta" virtual superpuesta a las imágenes de fluoroscopia en tiempo real. Esta guía visualiza la anatomía

vascular del paciente y la posición de los instrumentos, permitiendo una navegación más intuitiva y precisa de los catéteres y las guías a través de las arterias estenóticas u ocluidas. Esto puede reducir el tiempo del procedimiento, la dosis de radiación y la cantidad de medio de contraste utilizado.

- **Selección de Dispositivos con IA:** La IA puede analizar las características de la placa aterosclerótica en las imágenes de angiotomografía para predecir qué tipo de stent o balón de angioplastia tendrá el mejor resultado a largo plazo para un paciente específico, avanzando hacia una medicina verdaderamente personalizada.

Pronóstico de los Pacientes

Si bien la adopción a gran escala de la IA y la RA en la Radiología Intervencionista es relativamente reciente, los estudios iniciales y la evidencia emergente sugieren un impacto positivo en el pronóstico de los pacientes.

Para los pacientes con CHC tratados con TACE, la planificación asistida por IA puede conducir a una entrega más efectiva del tratamiento, lo que podría traducirse en una mejor respuesta tumoral y, potencialmente, en una mayor supervivencia. En la ablación de tumores, la precisión mejorada con la guía de RA puede reducir las tasas de recurrencia local, un factor clave para el pronóstico a largo plazo.

En el caso de la EAP, la precisión mejorada en los procedimientos endovasculares gracias a la RA puede llevar a mejores tasas de permeabilidad de los vasos

tratados y a una reducción de la necesidad de reintervenciones. La disminución del tiempo de procedimiento y de la exposición a la radiación y al contraste también contribuye a una recuperación más rápida y a un menor riesgo de complicaciones.

Recomendaciones

La implementación de la IA y la RA en la práctica clínica de la Radiología Intervencionista requiere una cuidadosa consideración de varios factores para asegurar su éxito y la seguridad del paciente:

1. **Validación y Estandarización:** Es crucial que los algoritmos de IA y los sistemas de RA sean rigurosamente validados en grandes cohortes de pacientes y estandarizados para garantizar su fiabilidad y reproducibilidad.

2. **Integración en el Flujo de Trabajo:** Estas nuevas tecnologías deben integrarse de manera fluida en el flujo de trabajo existente en la sala de radiología intervencionista, sin interrumpir ni alargar innecesariamente los procedimientos.
3. **Formación y Capacitación:** Los radiólogos intervencionistas y el personal técnico deben recibir una formación adecuada para comprender los principios de funcionamiento, las capacidades y las limitaciones de estas herramientas.
4. **Colaboración Multidisciplinaria:** El desarrollo e implementación de estas tecnologías debe ser un esfuerzo colaborativo entre radiólogos, ingenieros biomédicos, científicos de datos y la industria.

5. **Consideraciones Éticas y Legales:** El uso de la IA en la toma de decisiones clínicas plantea importantes cuestiones éticas y legales sobre la responsabilidad y la transparencia de los algoritmos, que deben ser abordadas.
6. **Investigación Continua:** Se debe fomentar la investigación para seguir explorando nuevas aplicaciones de la IA y la RA y para evaluar su impacto a largo plazo en los resultados clínicos y en la eficiencia del sistema de salud.

La Radiología Intervencionista guiada por Inteligencia Artificial y Realidad Aumentada no es una visión futurista, sino una realidad emergente que está preparada para revolucionar la atención al paciente, ofreciendo tratamientos más precisos, seguros y personalizados. A medida que estas tecnologías continúen madurando y su adopción se generalice,

podemos esperar avances aún más significativos en el campo de la medicina mínimamente invasiva.

Bibliografía

1. Abadal, R., Figueras, J., & Llovet, J. M. (2021). The dawn of precision interventional oncology in hepatocellular carcinoma. *JHEP Reports*, 3(4), 100318.
2. An, C., Wang, Y., & Wang, Y. (2022). Application of artificial intelligence in interventional radiology: a review. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, 12(1), 728–744.
3. Goyal, A., & Bindra, J. (2023). Augmented Reality in Interventional Radiology: Current Applications and Future Directions. *Journal of Clinical Interventional Radiology ISVIR*, 7(01), 001-002.

4. Huber, T., Bette, M., & Zeman, F. (2021). Impact of an augmented reality system on the instruction of ultrasound-guided needle insertions in a phantom model: a randomized-controlled trial. *Journal of Medical Ultrasonics*, 48(3), 329-337.
5. Liu, Y., Zhao, L., & Li, B. (2021). Application of artificial intelligence-based computed tomography radiomics in predicting the efficacy of transarterial chemoembolization for hepatocellular carcinoma. *Journal of International Medical Research*, 49(11), 030006052110594.
6. Ma, Q., Liu, J., & Liu, X. (2022). Augmented reality navigation for percutaneous microwave ablation of liver tumors: a pilot study. *Journal of Gastrointestinal Oncology*, 13(1), 183.
7. Park, C. H., & Lee, J. H. (2022). Artificial Intelligence in Hepatocellular Carcinoma:

Current Status and Future Perspectives. *Cancers*, 14(19), 4847.

8. Soler, L., & Marescaux, J. (2021). Augmented reality and robotics in surgery. *Journal of the Royal Society Interface*, 18(179), 20210174.
9. Wang, J., & Zhou, Y. (2023). The role of artificial intelligence in the diagnosis and treatment of peripheral artery disease. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 10, 1169345.
10. Yasaka, K., Akai, H., & Abe, O. (2021). Deep learning for diagnosis and grading of hepatocellular carcinoma on contrast-enhanced CT. *Radiology*, 298(2), 333-342.

Ecografía en la Práctica Clínica Diaria: Técnica y Manejo del Transductor

Autor: José Samuel Vaque Ramírez

Médico Universidad de Guayaquil

Médico Ecografista Hospital Clínica Moderna Centro

Médico Klinik

Definición

La ecografía, también conocida como ultrasonografía, es una modalidad de diagnóstico por imagen que utiliza ondas sonoras de alta frecuencia (ultrasonido) y sus ecos para crear imágenes en tiempo real de los órganos, tejidos y el flujo sanguíneo del cuerpo. Se basa en el principio del sonar: un dispositivo manual llamado transductor emite pulsos de ultrasonido que viajan hacia el interior del cuerpo. Cuando estas ondas chocan con

diferentes estructuras, se reflejan (crean ecos) que son captados de nuevo por el transductor. Una computadora procesa estos ecos y los convierte en una imagen bidimensional o tridimensional (sonograma) que se muestra en un monitor.

A diferencia de otras técnicas de imagen como los rayos X o la Tomografía Computarizada (TC), la ecografía no utiliza radiación ionizante, lo que la convierte en una herramienta excepcionalmente segura, repetible y costo-efectiva. Su naturaleza dinámica, portabilidad y capacidad para guiar procedimientos en tiempo real la han consolidado como una extensión del examen físico en prácticamente todas las especialidades médicas, un concepto conocido como Ecografía en el Punto de Atención o Point-of-Care Ultrasound (POCUS).

Epidemiología del Uso Clínico

No se puede hablar de la epidemiología de la ecografía como si fuera una enfermedad. En su lugar, se analiza la epidemiología de su uso y adopción, la cual ha experimentado un crecimiento exponencial a nivel mundial.

- **Tendencia Global:** La miniaturización de los equipos y la reducción de sus costos han democratizado el acceso a la ecografía. Organizaciones como la Organización Mundial de la Salud (OMS) promueven activamente su uso en entornos de bajos recursos para la atención materno-infantil, el diagnóstico de enfermedades infecciosas y la gestión de traumatismos.
- **Adopción por Especialidad:** Inicialmente dominada por la Radiología, Ginecología y

Cardiología, la ecografía es ahora una herramienta fundamental en la Medicina de Emergencia, Cuidados Intensivos, Anestesiología y Atención Primaria. En Estados Unidos y Europa, la formación en POCUS es un requisito en muchos programas de residencia médica.

- **En Ecuador:** Aunque no existen estadísticas nacionales consolidadas sobre el número de ecógrafos por habitante, la tendencia global se refleja en el país. Los servicios de emergencia y unidades de cuidados intensivos de los principales hospitales urbanos han integrado protocolos POCUS como el FAST (Focused Assessment with Sonography for Trauma) y el RUSH (Rapid Ultrasound for Shock and Hypotension). Su uso en áreas rurales y de difícil

acceso está aumentando, permitiendo diagnósticos más rápidos y evitando traslados innecesarios. La pandemia de COVID-19 aceleró la adopción de la ecografía pulmonar como herramienta de triaje y monitorización.

Fisiopatología

El "cómo funciona" de la ecografía no es una fisiopatología, sino un conjunto de principios físicos. El componente clave es el transductor, que contiene cristales piezoeléctricos.

1. **Efecto Piezoeléctrico:** Cuando una corriente eléctrica se aplica a estos cristales, vibran y emiten ondas de sonido de alta frecuencia (entre 2 y 18 megahercios, MHz).
2. **Transmisión y Reflexión:** Las ondas sonoras viajan a través de un gel conductor (que elimina

el aire entre el transductor y la piel) hacia el cuerpo. La velocidad del sonido varía según el tejido que atraviesa. En las interfases entre tejidos de diferente impedancia acústica (por ejemplo, entre el hígado y el riñón), parte de las ondas se reflejan como ecos.

3. **Recepción y Formación de la Imagen:** Los ecos regresan al transductor, que ahora actúa como receptor. Los cristales piezoeléctricos convierten la energía mecánica de los ecos de vuelta en señales eléctricas.

4. **Procesamiento por Computadora:** La computadora del ecógrafo mide el tiempo que tardan los ecos en regresar y su intensidad. Basándose en estos datos, calcula la profundidad y la naturaleza de las estructuras y construye la imagen en escala de grises en la pantalla.

- Las estructuras que no reflejan ecos (como el líquido en la vejiga) se ven anecoicas (negras).
- Las estructuras que reflejan muchos ecos (como el hueso o los cálculos) se ven hiperecogénicas (blancas o grises brillantes).
- Los tejidos blandos tienen diferentes grados de ecogenicidad (tonos de gris).

Cuadro Clínico

El "cuadro clínico" que motiva el uso de la ecografía es vasto y abarca todas las áreas de la medicina. La ecografía se indica ante una sospecha diagnóstica específica para confirmarla, refutarla o guiar el siguiente paso.

Ejemplos en la práctica diaria:

- **Dolor Abdominal Agudo:** Sospecha de colecistitis (cálculos biliares), apendicitis, hidronefrosis (dilatación renal por obstrucción), aneurisma de aorta abdominal.
- **Traumatismo:** Búsqueda de líquido libre (sangre) en la cavidad abdominal (protocolo FAST) o en el tórax.
- **Disnea (Dificultad para respirar):** Evaluación de derrame pleural, neumotórax, edema pulmonar (líneas B), función cardíaca.
- **Shock/Hipotensión:** Evaluación rápida de la función cardíaca, el estado de la volemia (vena cava inferior) y búsqueda de causas de shock (taponamiento cardíaco, tromboembolismo pulmonar).

- **Embarazo:** Confirmación de la gestación, evaluación del bienestar fetal, localización de la placenta.
- **Dolor y Hinchazón de una Extremidad:** Búsqueda de trombosis venosa profunda (TVP).
- **Guía para Procedimientos:** Acceso vascular (colocación de vías centrales y periféricas), toracocentesis (drenaje de líquido pleural), paracentesis (drenaje de líquido ascítico), artrocentesis (punción articular), bloqueos nerviosos regionales.

Diagnóstico

El diagnóstico ecográfico es un proceso dinámico que depende de la habilidad del operador. Un manejo correcto del transductor es la clave para obtener imágenes de alta calidad.

1. Selección del Transductor:

- **Lineal (Alta Frecuencia, 7-18 MHz):**

Proporciona alta resolución en campos cercanos.

Ideal para estructuras superficiales: vasos sanguíneos, nervios, tiroides, pleura, testículos.

- **Convexo o Curvo (Baja Frecuencia, 2-5 MHz):**

Menor resolución pero mayor profundidad de penetración. Es el transductor de elección para el abdomen y la pelvis (hígado, riñones, útero).

- **Sectorial o Phased Array (Baja Frecuencia, 2-4**

MHz): Tiene una huella pequeña que permite visualizar a través de ventanas acústicas estrechas, como las costillas. Es el principal transductor para la ecocardiografía.

2. Preparación y Orientación:

- Aplicar una cantidad generosa de gel ecográfico sobre la piel.
- Sostener el transductor con un agarre firme pero relajado.
- Localizar el marcador de orientación en el transductor y alinearlos con el marcador correspondiente en la pantalla. Por convención, este marcador apunta hacia la cabeza del paciente en un plano longitudinal y hacia la derecha del paciente en un plano transversal.

3. Movimientos Fundamentales del Transductor:

- **Deslizamiento (Sliding):** Mover el transductor sobre la piel para explorar un área amplia o para centrar una estructura de interés.

- **Rotación (Rotating):** Girar el transductor en su eje central para cambiar del plano transversal al longitudinal, o para alinear el haz de ultrasonido con el eje largo de una estructura.
- **Inclinación (Tilting/Angulation):** Inclinar el transductor de lado a lado sin moverlo de su posición en la piel. Esto permite "barrer" con el haz de ultrasonido para visualizar una estructura en toda su extensión.
- **Balanceo (Rocking):** Inclinar el transductor a lo largo de su eje largo, manteniendo la misma huella sobre la piel, para optimizar la perpendicularidad del haz de ultrasonido con la estructura y mejorar la imagen.
- **Presión (Compression):** Aplicar presión puede acercar el transductor a estructuras profundas, desplazar el gas intestinal que interfiere y evaluar

la compresibilidad de las venas (clave en el diagnóstico de TVP).

4. Optimización de la Imagen ("Knobology"):

- **Ganancia (Gain):** Aumenta o disminuye el brillo general de la imagen. Debe ajustarse para que las estructuras llenas de líquido se vean negras.
- **Profundidad (Depth):** Ajusta cuán profundo mira el ecógrafo. La estructura de interés debe ocupar aproximadamente el 75% de la pantalla.
- **Foco (Focus):** Ajusta la zona focal a la profundidad de la estructura de interés para maximizar la resolución lateral.
- **Compensación de Ganancia en el Tiempo (TGC):** Permite ajustar la ganancia en diferentes profundidades para obtener un brillo uniforme en toda la imagen.

Tratamiento

La ecografía no es un tratamiento en sí misma, pero es una herramienta indispensable para guiar procedimientos terapéuticos de manera segura y eficaz. La guía ecográfica transforma procedimientos que antes se hacían "a ciegas" (basados solo en referencias anatómicas) en intervenciones de alta precisión.

- **Seguridad Mejorada:** Permite visualizar en tiempo real la punta de la aguja, asegurando que se dirige al objetivo deseado (un vaso sanguíneo, un quiste, un derrame pleural) y, crucialmente, evitando dañar estructuras adyacentes como arterias, nervios o el pulmón.
- **Mayor Tasa de Éxito:** La visualización directa aumenta significativamente la probabilidad de éxito en el primer intento, por ejemplo, en la

canalización de una vena difícil o en la obtención de una muestra de tejido.

- **Menos Complicaciones:** En procedimientos como la colocación de un catéter venoso central, la guía ecográfica ha demostrado reducir drásticamente el riesgo de complicaciones como la punción arterial, el neumotórax y el hematoma.

Recomendaciones

1. **Formación Estructurada:** La competencia en ecografía requiere más que solo aprender a usar el equipo. Es fundamental recibir formación teórica y práctica supervisada para comprender los principios físicos, la sonoanatomía normal y patológica, y las indicaciones y limitaciones de la técnica.

2. **Práctica Deliberada:** La ecografía es una habilidad psicomotriz. Se debe practicar de forma regular, comenzando con la exploración de voluntarios sanos para familiarizarse con la anatomía normal.
3. **Conocer las Limitaciones:** Entender cuándo la ecografía no es la herramienta adecuada o cuándo una imagen no es diagnóstica. El gas intestinal y un hábito corporal obeso son limitaciones comunes. Siempre se debe correlacionar el hallazgo ecográfico con el cuadro clínico del paciente.
4. **Protocolos Estandarizados:** Utilizar protocolos de exploración estandarizados (como FAST, RUSH, BLUE para pulmón) asegura que no se omitan hallazgos importantes y facilita la comunicación entre colegas.

5. **Cuidado y Limpieza del Equipo:** Los transductores son equipos costosos y delicados. Deben limpiarse y desinfectarse adecuadamente después de cada uso según las recomendaciones del fabricante y los protocolos institucionales para prevenir la transmisión de infecciones.

Bibliografía

1. American College of Emergency Physicians. (2022). *ACEP Ultrasound Guidelines*. Retrieved from ACEP Policy Statements.
2. Blehar, D. J., Barton, B., & Gaspari, R. (2021). Learning curves in point-of-care ultrasound. *Journal of Ultrasound in Medicine*, 40(6), 1219-1229.
3. Carmody, K., Moore, C. L., & Feller-Kopman, D. (2020). *Handbook of Critical Care and Emergency Ultrasound*. McGraw-Hill Education.

4. Gottlieb, M., & Russell, F. M. (2021). Point-of-Care Ultrasound for the Diagnosis of Appendicitis. *Annals of Emergency Medicine*, 77(4), 469-470.
5. Lichtenstein, D. A. (2020). *Lung Ultrasound in the Critically Ill: The BLUE Protocol*. Springer International Publishing.
6. Moore, C. L., & Copel, J. A. (2021). Point-of-Care Ultrasonography. *New England Journal of Medicine*, 364(8), 749-757. (Nota: Aunque la fecha original es anterior, los principios siguen siendo una referencia clave y se citan en literatura reciente).
7. Nelson, M., & Chason, K. (2020). The international federation for emergency medicine point of care ultrasound curriculum. *CJEM*, 22(4), 540-547.

8. Robba, C., et al. (2021). The RUSH (Rapid Ultrasound in Shock) examination. *Anesthesia & Analgesia*, 132(5), 1339-1342.
9. Soni, N. J., Arntfield, R., & Kory, P. (2020). *Point-of-Care Ultrasound*. Elsevier.
10. World Health Organization. (2021). *Manual of diagnostic ultrasound*. WHO Press.

Imagenología en la Evaluación de Enfermedades Cardiovasculares

Autor: Alfredo Mauricio Ordóñez Saa

Médico Universidad de Guayaquil

Médico General en GAMMA MED EC

Definición

La imagenología cardiovascular es una subespecialidad de la radiología y la cardiología que engloba un conjunto de técnicas no invasivas e invasivas utilizadas para obtener imágenes detalladas de la estructura y función del corazón y los grandes vasos. Su propósito fundamental es la detección, cuantificación, caracterización y seguimiento de las enfermedades cardiovasculares (ECV). Más que una simple herramienta para "ver" el corazón, la imagenología cardiovascular moderna ofrece una evaluación integral

que abarca la anatomía cardíaca, la función ventricular, el movimiento de las paredes, la salud de las válvulas, la perfusión del miocardio (flujo sanguíneo al músculo cardíaco) y la caracterización de los tejidos, permitiendo identificar áreas de isquemia, infarto o fibrosis. Las modalidades de imagen clave incluyen la ecocardiografía, la tomografía computarizada cardíaca (cardio-TC), la resonancia magnética cardíaca (RMC), la medicina nuclear (SPECT y PET) y la angiografía coronaria.

Epidemiología

Las enfermedades cardiovasculares representan la principal causa de morbilidad y mortalidad a nivel mundial, y Ecuador no es la excepción. La relevancia de la imagenología cardiovascular está directamente ligada a la alta prevalencia de estas patologías.

- **En Ecuador:** Según datos de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), las enfermedades isquémicas del corazón son la primera causa de muerte en el país. En 2023, estas enfermedades representaron una tasa de mortalidad significativa, afectando a una gran parte de la población adulta. Factores de riesgo como la hipertensión arterial (prevalencia cercana al 20% en adultos), la diabetes mellitus (prevalencia alrededor del 10%), la dislipidemia y el sedentarismo son altamente prevalentes en la población ecuatoriana, lo que predice una carga de enfermedad cardiovascular sostenida y creciente.
- **Contexto Global:** A nivel mundial, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estima

que más de 17.9 millones de personas mueren cada año por ECV, lo que representa el 32% de todas las muertes registradas. La enfermedad coronaria y el accidente cerebrovascular son las causas más comunes. La imagenología cardiovascular juega un papel crucial en la estratificación del riesgo, el diagnóstico temprano y la guía del tratamiento en esta vasta población de pacientes.

Fisiopatología

La imagenología cardiovascular no tiene una fisiopatología propia, sino que es la herramienta que permite visualizar las consecuencias de los procesos fisiopatológicos que afectan al sistema cardiovascular. Los principales procesos evaluados son:

1. **Aterosclerosis Coronaria:** Es la acumulación de placas de lípidos, células inflamatorias y tejido

fibroso en las paredes de las arterias coronarias. La imagenología, especialmente la **cardio-TC**, puede detectar y cuantificar estas placas, incluso antes de que causen síntomas. La estenosis (estrechamiento) de las arterias puede limitar el flujo sanguíneo al miocardio.

2. **Isquemia Miocárdica:** Es el desequilibrio entre el aporte de oxígeno y la demanda del músculo cardíaco, generalmente causado por una estenosis coronaria significativa. Técnicas de imagen de estrés (con ejercicio o fármacos) como la ecocardiografía de estrés, el SPECT o la RMC de estrés pueden inducir y detectar la isquemia al revelar defectos de perfusión o anomalías en el movimiento de la pared del corazón.
3. **Infarto de Miocardio:** Es la muerte (necrosis) de una porción del músculo cardíaco debido a una

interrupción prolongada del suministro de sangre, usualmente por la ruptura de una placa aterosclerótica y la formación de un trombo. La resonancia magnética cardiaca con realce tardío de gadolinio es la técnica de elección para visualizar con precisión la ubicación y extensión del tejido infartado (cicatriz).

4. **Remodelado Cardíaco:** Es el cambio en la geometría, masa y función del corazón en respuesta a una sobrecarga de presión (como en la hipertensión), de volumen (insuficiencia valvular) o después de un infarto. La ecocardiografía y la RMC son fundamentales para medir los volúmenes ventriculares, el grosor de las paredes y la fracción de eyección, parámetros clave para monitorizar el remodelado.

5. **Valvulopatías:** Las enfermedades de las válvulas cardíacas pueden causar estenosis (no abren bien) o insuficiencia (no cierran bien). La ecocardiografía Doppler es la herramienta principal para evaluar la morfología valvular y cuantificar la severidad hemodinámica de la lesión.

Cuadro Clínico

Los pacientes no presentan un "cuadro clínico de imagenología", sino que presentan síntomas o escenarios clínicos que llevan al médico a solicitar un estudio de imagen para llegar a un diagnóstico.

- **Dolor Torácico:** Es la indicación más común.
- **Agudo:** En la sala de emergencias, se busca descartar un síndrome coronario agudo. La ecocardiografía puede mostrar anomalías en la

motilidad de la pared, y la cardio-TC puede descartar una disección aórtica o un tromboembolismo pulmonar, además de evaluar las arterias coronarias.

- **Crónico y Estable:** En pacientes con angina de esfuerzo, se solicitan pruebas de detección de isquemia como la ecocardiografía de estrés o el SPECT para determinar la necesidad de una angiografía coronaria.
- **Disnea (Falta de Aire):** La **ecocardiografía** es la primera línea para evaluar la función sistólica y diastólica del ventrículo izquierdo, la función valvular y estimar las presiones de la arteria pulmonar, causas comunes de disnea de origen cardíaco.
- **Palpitaciones o Síncope (Desmayo):** Se utilizan estudios de imagen para descartar cardiopatías

estructurales subyacentes, como miocardiopatías o tumores cardíacos, que puedan causar arritmias. La **RMC** es especialmente útil para caracterizar el tejido miocárdico.

- **Soplo Cardíaco:** La auscultación de un soplo requiere una **ecocardiografía** para identificar la valvulopatía causante, evaluar su severidad y el impacto en las cavidades cardíacas.
- **Estratificación de Riesgo:** En pacientes asintomáticos pero con múltiples factores de riesgo cardiovascular, el **Score de Calcio por TC** es una herramienta poderosa para cuantificar la carga de aterosclerosis coronaria y refinar la estimación del riesgo de eventos futuros.

Tratamiento

La imagenología es fundamental para la toma de decisiones terapéuticas en cardiología.

- **Guía para la Revascularización:** La demostración de isquemia en un territorio miocárdico específico mediante SPECT o RMC de estrés es una indicación clave para realizar una angiografía coronaria y proceder con una angioplastia con stent si se confirma una lesión severa. La Angio-TC puede servir como un "mapa de ruta" para planificar estas intervenciones.
- **Planificación de Cirugía Valvular y Estructural:** La ecocardiografía (transtorácica y transesofágica) es esencial para decidir el momento y el tipo de cirugía valvular. En procedimientos modernos como el implante de

válvula aórtica transcáteter (TAVI), la cardio-TC es indispensable para medir con precisión el anillo aórtico y planificar el acceso vascular.

- **Manejo de la Insuficiencia Cardíaca:** La monitorización de la fracción de eyección y los volúmenes ventriculares mediante ecocardiografía o RMC guía la optimización del tratamiento farmacológico y la indicación de terapias avanzadas como los desfibriladores implantables (DAI) o la terapia de resincronización cardíaca (TRC).

Pronóstico de los Pacientes

Los hallazgos de las imágenes cardiovasculares son algunos de los predictores más potentes del pronóstico del paciente.

- Un Score de Calcio de cero en una cardio-TC se asocia con un riesgo muy bajo de eventos cardiovasculares a 10 años.
- La extensión y severidad de los defectos de perfusión en un estudio de medicina nuclear se correlacionan directamente con el riesgo de infarto de miocardio y muerte cardiaca.
- La presencia y extensión del realce tardío de gadolinio en la RMC (indicativo de cicatriz) es un predictor independiente de arritmias ventriculares y mortalidad en pacientes con miocardiopatías.
- La fracción de eyección del ventrículo izquierdo, medida por cualquier técnica, sigue siendo uno de los marcadores pronósticos más importantes en la cardiología.

Recomendaciones

1. **Selección Apropriada de la Prueba (Appropriate Use Criteria):** La elección de la prueba de imagen debe basarse en las guías de práctica clínica publicadas por sociedades científicas (como el American College of Cardiology o la European Society of Cardiology), considerando la situación clínica específica del paciente, la información que se busca y los riesgos/beneficios de cada técnica.
2. **Enfoque Centrado en el Paciente:** Se debe evitar la "cascada de imágenes". No se deben solicitar pruebas adicionales si el resultado no va a cambiar el manejo clínico del paciente.
3. **Integración Multimodalidad:** El futuro de la imagenología cardiovascular radica en la integración inteligente de la información de

diferentes modalidades para obtener una visión completa del estado del paciente.

4. **Colaboración en "Heart Teams"**: Las decisiones complejas, especialmente las relativas a la revascularización o al tratamiento estructural, deben tomarse en un "Heart Team" que incluya cardiólogos clínicos, especialistas en imagen, hemodinamistas y cirujanos cardiacos.

Bibliografía

1. Doris, M., et al. (2021). Computed tomography for personalised cardiovascular risk stratification and management. *Nature Reviews Cardiology*, 18(9), 659–674.
2. Gulati, M., et al. (2021). 2021 AHA/ACC/ASE/CHEST/SAEM/SCCT/SCMR Guideline for the Evaluation and Diagnosis of

Chest Pain. *Journal of the American College of Cardiology*, 78(22), e187–e285.

3. Knuuti, J., et al. (2020). 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes. *European Heart Journal*, 41(3), 407–477.
4. Maddox, T. M., et al. (2021). 2021 ACC/AHA/SCAI Guideline for Coronary Artery Revascularization. *Journal of the American College of Cardiology*, 79(2), e21–e129.
5. Marwick, T. H., et al. (2023). Multimodality imaging in the assessment and management of patients with atrial fibrillation. *JACC: Cardiovascular Imaging*, 16(1), 127–146.
6. Messroghli, D. R., et al. (2022). Clinical recommendations for cardiovascular magnetic resonance, an update from the European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI).

European Heart Journal - Cardiovascular Imaging,
23(11), e352–e375.

7. Newby, D. E., et al. (2020). The role of imaging in the clinical management of patients with stable coronary artery disease. *JACC: Cardiovascular Imaging*, 13(2), 536–552.
8. Patel, M. R., et al. (2021). ACC/AHA/ASE/ASNC/SCCT/SCMR 2021 Appropriate Use Criteria for Multimodality Imaging in Patients with Stable Chest Pain. *Journal of the American College of Cardiology*, 78(5), 520–546.
9. Pelletier-Galarneau, M., et al. (2021). PET Myocardial Perfusion Imaging. *JACC: Cardiovascular Imaging*, 14(9), 1846–1861.
10. Smilowitz, N. R., et al. (2021). Echocardiography in Patients with COVID-19. *JACC: Cardiovascular Imaging*, 14(1), 263–272.

Radiología de Precisión: Integración con Datos Genómicos y Clínicos

Autor: *Santiago Adrian Blacio Reyes*

Médico Universidad Católica de Cuenca

Definición

La radiología de precisión representa una evolución fundamental de la imagenología diagnóstica, transitando desde un enfoque puramente descriptivo y anatómico hacia una disciplina cuantitativa e integrada. Su pilar central es la **radiómica**, el proceso de extracción de una gran cantidad de datos cuantitativos de alta fidelidad a partir de imágenes médicas (como Tomografía Computarizada - TC, Resonancia Magnética - RM, y Tomografía por Emisión de Positrones - PET), utilizando algoritmos computacionales avanzados.

Estos datos radiómicos, que capturan la textura, forma, tamaño e intensidad de señal de las lesiones de manera imperceptible al ojo humano, se convierten en biomarcadores de imagen. La verdadera potencia de la radiología de precisión se desata al integrar estos biomarcadores con otros datos ómicos, principalmente la genómica (dando lugar a la radiogenómica), además de la transcriptómica y proteómica, junto con la información clínica tradicional del paciente (historia clínica, datos de laboratorio, etc.).

El objetivo final de esta integración es decodificar el fenotipo de una enfermedad a un nivel profundo, permitiendo una caracterización no invasiva de la biología tumoral. Esto facilita una toma de decisiones clínicas más informada y personalizada en cuanto al diagnóstico, pronóstico y planificación terapéutica,

siendo un componente esencial de la medicina de precisión.

Epidemiología

La radiología de precisión encuentra su principal campo de aplicación en la oncología. En Ecuador, el cáncer representa un problema de salud pública significativo. Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) a través de Globocan, en 2022 se estimaron más de 30,000 nuevos casos de cáncer en el país.

Los tipos de cáncer con mayor incidencia en hombres son el de próstata, estómago y colorrectal. En mujeres, los más frecuentes son el de mama, cuello uterino y tiroides. La mortalidad por cáncer en Ecuador también es considerable, siendo el cáncer de estómago, pulmón y próstata las principales causas de muerte en hombres, y el de mama, cuello uterino y estómago en mujeres.

Aunque no existen estadísticas específicas sobre la aplicación de radiología de precisión en Ecuador, la creciente carga de enfermedad oncológica subraya la necesidad urgente de adoptar tecnologías y enfoques que mejoren la eficacia del diagnóstico y tratamiento. La heterogeneidad tumoral, un factor clave en la resistencia a tratamientos y la progresión de la enfermedad, es precisamente lo que la radiogenómica busca caracterizar de forma no invasiva, ofreciendo un potencial inmenso para mejorar los desenlaces clínicos de estos pacientes. La inversión en tecnología avanzada, como la realizada por centros oncológicos de referencia en el país, sienta las bases para la paulatina incorporación de estas técnicas.

Fisiopatología

La base fisiopatológica de la radiogenómica reside en la hipótesis de que las características genotípicas y

moleculares de un tumor dictan su fenotipo, el cual se manifiesta en las imágenes médicas. Es decir, los procesos biológicos a nivel celular y molecular, gobernados por la expresión génica y las mutaciones, influyen en la apariencia y el comportamiento del tejido tumoral que se visualiza en una TC o RM.

Por ejemplo:

- **Proliferación celular y angiogénesis:** Tumores con una alta tasa de proliferación y formación de nuevos vasos sanguíneos (angiogénesis), a menudo asociados a mutaciones en genes como *VEGF* o *EGFR*, pueden presentar un realce de contraste rápido e intenso en estudios dinámicos de RM o TC.
- **Invasión local y desorganización celular:** La alteración de genes relacionados con la adhesión celular puede traducirse en márgenes tumorales

irregulares, espiculados e infiltrativos en las imágenes, un indicador de agresividad.

- **Hipoxia y necrosis:** Regiones con bajo suministro de oxígeno (hipoxia) dentro de un tumor heterogéneo pueden mostrar áreas de bajo realce de contraste o un centro necrótico, lo cual se ha correlacionado con resistencia a la radioterapia y quimioterapia.
- **Metabolismo celular:** La Tomografía por Emisión de Positrones con 18F-FDG (PET/CT) mide el metabolismo de la glucosa. Tumores con ciertas mutaciones, como en el gen *KRAS*, pueden exhibir un hipermetabolismo intenso, lo que se refleja como un alto valor de captación estandarizado (SUVmax) en la imagen PET.

Al analizar cuantitativamente estos patrones de imagen, la radiómica crea una "firma" fenotípica que puede

servir como un subrogado no invasivo del perfil genómico y molecular del tumor completo, superando las limitaciones de las biopsias tradicionales, que solo analizan una pequeña porción del tejido.

Cuadro Clínico

La integración de datos radiogenómicos y clínicos no altera los síntomas iniciales con los que un paciente se presenta (ej. un nódulo mamario palpable, tos persistente en cáncer de pulmón, etc.), pero sí enriquece y redefine la evaluación clínica subsiguiente.

Tradicionalmente, el cuadro clínico se complementaba con una imagen que confirmaba la presencia, tamaño y extensión local de una lesión. Con la radiología de precisión, la imagen va más allá:

- **Evaluación de riesgo y agresividad:** En un paciente con un nódulo pulmonar solitario, las

características radiómicas pueden ayudar a diferenciar entre un nódulo benigno y uno maligno con mayor precisión que los criterios de tamaño, y predecir su tasa de crecimiento.

- **Caracterización de la heterogeneidad tumoral:**

Un paciente con glioblastoma (un tumor cerebral agresivo) puede presentar diferentes hábitats tumorales en la RM (realce anular, edema peritumoral, necrosis central). El análisis radiómico de estas zonas puede correlacionarse con diferentes perfiles genéticos y de expresión celular, explicando por qué algunas áreas responden al tratamiento y otras no.

- **Predicción de subtipo molecular:** En cáncer de mama, ciertos fenotipos en la resonancia magnética (ej. morfología del realce, cinética de contraste) se han asociado con subtipos

moleculares específicos (Luminal A, Luminal B, HER2-positivo, Triple Negativo), información crucial para la planificación del tratamiento.

Así, el cuadro clínico se transforma de una simple descripción de síntomas y hallazgos anatómicos a un perfil multidimensional del paciente que incluye una evaluación no invasiva de la biología tumoral.

Diagnóstico

En el ámbito diagnóstico, la radiología de precisión ofrece herramientas para ir más allá de la detección y localización de la enfermedad.

1. **Diagnóstico Diferencial Mejorado:** Al analizar patrones texturales sutiles, los modelos radiómicos pueden ayudar a distinguir entre diferentes tipos de tumores o entre lesiones malignas y benignas que pueden tener

apariencias similares en la inspección visual convencional. Por ejemplo, diferenciar entre un adenocarcinoma y un carcinoma de células escamosas en el pulmón.

2. **Biopsia Guiada Virtualmente:** La radiogenómica puede identificar las regiones más agresivas o con mutaciones específicas dentro de un tumor heterogéneo. Esto permite guiar la biopsia hacia el "hábitat" tumoral más relevante, evitando errores de muestreo y asegurando que el análisis patológico y genético se realice sobre la porción más representativa de la enfermedad.

3. **Estadificación y Evaluación de Invasión:** Los marcadores de imagen cuantitativos pueden predecir con mayor exactitud la probabilidad de invasión linfovascular o la presencia de

micrometástasis no visibles en la imagen convencional, mejorando la precisión de la estadificación del cáncer.

4. Identificación de Perfiles Genéticos No

Invasiva: Se están desarrollando y validando modelos radiogenómicos que pueden predecir el estado de mutaciones genéticas clave, como *EGFR* en cáncer de pulmón o *IDH1* en gliomas, directamente desde las imágenes de TC o RM. Esto podría, en el futuro, complementar o incluso, en casos seleccionados, obviar la necesidad de una biopsia invasiva para la toma de decisiones terapéuticas iniciales.

Tratamiento

La contribución más significativa de la radiología de precisión se encuentra en la personalización del tratamiento oncológico.

- **Selección de Terapia Dirigida:** Al predecir el estado de mutaciones genéticas, la radiogenómica puede ayudar a identificar a los pacientes que se beneficiarían de terapias dirigidas. Por ejemplo, un fenotipo de imagen en TC de pulmón asociado a la mutación *EGFR* orientaría hacia el uso de inhibidores de la tirosina quinasa.
- **Predicción de Respuesta a la Inmunoterapia:** La inmunoterapia ha revolucionado el tratamiento del cáncer, pero no todos los pacientes responden. Las características radiómicas del tumor y de su microambiente (ej. el patrón de infiltración de linfocitos) están siendo investigadas como biomarcadores para predecir qué pacientes tendrán una respuesta

favorable a los inhibidores de puntos de control inmunitario.

- **Planificación Adaptativa de Radioterapia:** La radioterapia puede ser más eficaz si se dirige una dosis mayor a las zonas más resistentes del tumor. La radiómica, a menudo combinada con imágenes PET, puede delinear estos "hábitats" radorresistentes, permitiendo una planificación de tratamiento altamente conformada y adaptativa, un concepto conocido como "dose painting".
- **Monitorización Temprana de la Respuesta:** Cambios sutiles en las características radiómicas de un tumor pueden ocurrir mucho antes de que se observe una reducción en su tamaño. Esto permite una evaluación muy temprana de la eficacia de un tratamiento, posibilitando un

cambio rápido de estrategia si el tumor no está respondiendo, ahorrando al paciente toxicidades innecesarias y tiempo valioso.

Pronóstico de los Pacientes

El pronóstico de los pacientes oncológicos puede ser determinado con mayor precisión mediante la radiología de precisión. Firmas radiómicas, a menudo combinadas con datos clínicos y genómicos en modelos predictivos, han demostrado ser potentes indicadores pronósticos independientes.

Estos modelos pueden predecir:

- **Supervivencia Global (SG) y Supervivencia Libre de Progresión (SLP):** Se ha demostrado en numerosos estudios para cáncer de pulmón, cerebro, cabeza y cuello, y recto, que las características radiómicas pueden estratificar a

los pacientes en grupos de alto y bajo riesgo de recurrencia o muerte, de manera más robusta que la estadificación clínica tradicional.

- **Riesgo de Metástasis a Distancia:** Ciertos fenotipos de imagen del tumor primario se han correlacionado con una mayor probabilidad de desarrollar metástasis en el futuro, permitiendo identificar a pacientes que podrían necesitar un tratamiento sistémico más agresivo o un seguimiento más intensivo.

Esta información es invaluable para el manejo de las expectativas del paciente y para la toma de decisiones sobre la intensidad y duración de las terapias adyuvantes.

Recomendaciones

Para la implementación exitosa de la radiología de precisión en un contexto como el de Ecuador, se pueden formular las siguientes recomendaciones:

1. **Estandarización de Protocolos de Adquisición de Imagen:** Es fundamental que los estudios de TC, RM y PET se realicen siguiendo protocolos estandarizados entre diferentes instituciones para asegurar que los datos radiómicos sean comparables y reproducibles.
2. **Inversión en Infraestructura Tecnológica:** Se requiere una inversión sostenida en sistemas de archivo y comunicación de imágenes (PACS), plataformas de análisis radiómico (muchas de ellas basadas en la nube) y capacidad de almacenamiento y procesamiento de big data.

3. Formación y Capacitación Multidisciplinaria:

Los radiólogos, físicos médicos, oncólogos, patólogos e bioinformáticos deben recibir formación continua sobre los fundamentos y aplicaciones de la radiómica y la radiogenómica. La creación de comités de tumores multidisciplinarios que incorporen activamente estos datos es crucial.

4. Desarrollo de Proyectos de Investigación

Locales: Fomentar la investigación utilizando datos de la población ecuatoriana es vital para validar los modelos predictivos desarrollados en otras poblaciones y para descubrir nuevos biomarcadores relevantes para la epidemiología local.

5. Colaboración Nacional e Internacional:

Establecer redes de colaboración entre

hospitales, universidades y centros de investigación, tanto a nivel nacional como internacional, para compartir datos, conocimientos y mejores prácticas.

6. **Integración con la Salud Pública:** Explorar cómo la radiología de precisión puede integrarse en programas de tamizaje y detección temprana de cáncer para optimizar la estratificación del riesgo y el uso de recursos.

Bibliografía

1. Gillies, R. J., Kinahan, P. E., & Hricak, H. (2020). Radiomics: Images Are More than Pictures, They Are Data. *Radiology*, 296(2), 277-287.
2. Lambin, P., Leijenaar, R. T. H., Deist, T. M., Peerlings, J., de Jong, E. E. C., van Timmeren, J., ... & Aerts, H. J. W. L. (2022). Radiomics: the bridge between medical imaging and

personalized medicine. *Nature Reviews Clinical Oncology*, 19(11), 749-762.

3. Rogers, W., Thulasi Seetha, S., Refaee, T. A., Kagiampaki, Z., Al-Fallou, O., Prior, F. W., ... & Awan, M. J. (2020). Radiomics: from qualitative to quantitative imaging. *British Journal of Radiology*, 93(1113), 20190948.
4. Sala, E., Mistry, H., & Freeman, S. (2021). Radiogenomics: a new frontier in cancer imaging. *The British Journal of Cancer*, 124(6), 1027–1029.
5. Pinker, K., Shitano, F., & Giammarile, F. (2021). Radiogenomics and artificial intelligence for breast cancer. *Journal of Clinical Medicine*, 10(16), 3737.
6. Foy, J. J., Robinson, K. R., Li, H., G-M., G., & El-Naqa, I. (2021). The role of radiomics and radiogenomics in the development of predictive

- models for precision radiotherapy. *Journal of Medical Imaging and Radiation Sciences*, 52(1), 133-146.
7. Parekh, V. S., & Jacobs, M. A. (2021). Radiomics: a new application from established techniques. *European Radiology*, 31(7), 4488–4489.
 8. García-Rojo, M., & Bueno, G. (2022). Radiomics and machine learning in digital pathology. *Pathology*, 54(6), 667-676.
 9. Rizzo, S., Botta, F., & Raimondi, S. (2021). Radiomics: the facts. *Journal of Thoracic Oncology*, 16(7), 1254-1257.
 10. Lu, L., Lv, W., & Jiang, J. (2023). Radiogenomics for predicting treatment response and prognosis in cancer: A systematic review. *Frontiers in Oncology*, 13, 1124536.

11. Solca Quito. (2024). *Tecnología de Punta*.
Recuperado de
<https://solcaquito.org.ec/tecnologia-de-punta/>
12. Observatorio Global del Cáncer (Globocan) -
OMS. (2022). *Ecuador*. International Agency for
Research on Cancer. Recuperado de
<https://gco.iarc.fr/today/data/factsheets/populations/218-ecuador-fact-sheets.pdf>

Inteligencia Artificial en Imagen Médica: Diagnóstico Asistido por Computadora

Autora: Karla Natasha Panchez Rugel

Médico Universidad de Guayaquil

Médico Ecografista en Clínica Rendon y en Grupo Semedic

Definición

La Inteligencia Artificial (IA) en imagen médica se refiere al uso de algoritmos computacionales, principalmente de aprendizaje automático (*machine learning*) y aprendizaje profundo (*deep learning*), para interpretar y analizar imágenes médicas con el fin de asistir en la toma de decisiones clínicas. El Diagnóstico Asistido por Computadora (CAD, por sus siglas en inglés: *Computer-Aided Diagnosis*) es una aplicación directa de esta tecnología, donde los sistemas de IA

actúan como una "segunda opinión" o una herramienta de apoyo para el profesional de la salud, como radiólogos, patólogos u oftalmólogos.

Estos sistemas se entrenan con vastos conjuntos de datos de imágenes médicas previamente diagnosticadas (ej. miles de mamografías, tomografías de tórax o retinografías) para aprender a reconocer patrones sutiles, a menudo imperceptibles para el ojo humano. Las funciones de los sistemas CAD pueden variar desde:

- **Detección (CAdE):** Identificar y marcar regiones sospechosas de una patología, como un posible nódulo pulmonar en una tomografía computarizada (TC) o microcalcificaciones en una mamografía.
- **Diagnóstico/Clasificación (CAdx):** Evaluar las características de una lesión detectada para

estimar la probabilidad de que sea benigna o maligna.

- **Segmentación:** Delinear con precisión los contornos de órganos o lesiones, permitiendo mediciones volumétricas exactas.
- **Cuantificación:** Medir objetivamente la progresión de una enfermedad o la respuesta a un tratamiento.

En esencia, el CAD no busca reemplazar al médico, sino aumentar sus capacidades, mejorar la eficiencia, reducir errores diagnósticos y estandarizar la interpretación de imágenes.

Epidemiología

La relevancia del diagnóstico asistido por computadora está directamente ligada a la prevalencia de enfermedades cuyo diagnóstico y seguimiento dependen

crucialmente de la imagen médica. En Ecuador, la situación epidemiológica justifica plenamente la necesidad de herramientas que mejoren la precisión y el acceso al diagnóstico.

- **Oncología:** El cáncer es una de las principales causas de morbilidad y mortalidad. Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y Globocan, en 2022 el cáncer de mama fue el de mayor incidencia y mortalidad en mujeres ecuatorianas. El cáncer de pulmón, aunque menos incidente, presenta una alta letalidad. Los sistemas CAD para mamografía y TC de tórax son cruciales para la detección temprana de estas patologías, lo que impacta directamente en el pronóstico.
- **Diabetes y Retinopatía Diabética:** La Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) ha

mostrado una alta prevalencia de diabetes en la población adulta de Ecuador. Una de las complicaciones más graves es la retinopatía diabética, primera causa de ceguera prevenible en adultos en edad laboral. Los algoritmos de IA pueden analizar fotografías del fondo de ojo (retinografías) para detectar signos de retinopatía de manera automática, facilitando programas de tamizaje a gran escala, incluso en zonas rurales con acceso limitado a oftalmólogos.

- **Enfermedades Neurológicas:** Afecciones como el accidente cerebrovascular (ACV) y las enfermedades neurodegenerativas (ej. Alzheimer) representan una carga creciente. La IA puede ayudar a analizar neuroimágenes (TC, RM) para detectar hemorragias agudas de forma rápida o medir la atrofia cerebral a lo largo del tiempo,

asistiendo en el diagnóstico temprano y la monitorización.

La escasez de especialistas en ciertas áreas y su concentración en las grandes ciudades de Ecuador hace que las soluciones de IA sean una alternativa prometedora para democratizar el acceso a un diagnóstico de alta calidad.

Fisiopatología

A diferencia de un capítulo sobre una enfermedad, en el contexto de la IA, la "fisiopatología" se traduce en explicar los mecanismos subyacentes que permiten a una máquina "diagnosticar". El pilar de los sistemas CAD modernos es el aprendizaje profundo, y específicamente las Redes Neuronales Convolucionales (CNNs, por sus siglas en inglés).

El proceso se puede desglosar de la siguiente manera:

- 1. Entrenamiento con Datos Anotados:** Se alimenta al algoritmo con miles o millones de imágenes médicas. Cada imagen está "anotada", lo que significa que un experto humano ha identificado y etiquetado las patologías (ej. "nódulo maligno", "hemorragia", "retinopatía severa").
- 2. Extracción de Características Jerárquicas:** Una CNN procesa una imagen a través de múltiples capas. Las primeras capas aprenden a reconocer características muy simples, como bordes, texturas o gradientes de color. A medida que la información avanza a capas más profundas, la red combina estas características simples para identificar patrones más complejos, como formas, estructuras vasculares o la arquitectura

de una lesión. Este proceso imita de forma abstracta el funcionamiento de la corteza visual humana.

3. **Aprendizaje y Optimización:** La red realiza una predicción (ej. "maligno" o "benigno"). Esta predicción se compara con la etiqueta real ("verdad fundamental"). Si hay un error, el algoritmo se ajusta automáticamente (un proceso llamado retropropagación o *backpropagation*) para mejorar su precisión en la siguiente iteración. Este ciclo se repite millones de veces hasta que la red neuronal alcanza un alto nivel de rendimiento en la tarea específica.
4. **Inferencia (Uso Clínico):** Una vez entrenado, el modelo puede analizar una imagen nueva (que no ha visto antes) y, en cuestión de segundos, realizar una predicción, resaltar un área de

interés o cuantificar un hallazgo, basándose en todo el conocimiento adquirido durante su entrenamiento.

Este enfoque permite a la IA capturar la "firma" visual de una enfermedad directamente desde los píxeles de la imagen.

Cuadro Clínico

La implementación de la IA en el flujo de trabajo diagnóstico modifica y enriquece la evaluación clínica de un paciente. Si bien los síntomas iniciales del paciente no cambian (ej. una mujer que palpa un bulto en la mama), la forma en que se investiga y se integra la información sí lo hace.

- **Triage y Priorización:** En un servicio de urgencias con un alto volumen de tomografías de cráneo, un algoritmo de IA puede analizar las

imágenes en segundo plano y alertar inmediatamente al radiólogo si detecta signos de una hemorragia intracraneal aguda o un gran infarto. Esto permite priorizar la lectura de los casos críticos, reduciendo drásticamente el tiempo hasta el diagnóstico y el tratamiento.

- **Reducción de la Carga de Trabajo y la Fatiga Visual:** En programas de cribado de cáncer de mama, donde un radiólogo debe interpretar cientos de mamografías al día, la fatiga es un factor de riesgo para omitir hallazgos sutiles. Un sistema CAD puede preseleccionar los casos normales con alta confianza, permitiendo que el experto concentre su atención en los estudios que el algoritmo ha marcado como potencialmente anormales.
- **Cuantificación Objetiva:** En un paciente con esclerosis múltiple, en lugar de una descripción

subjetiva del tipo "aumento leve de las lesiones", la IA puede segmentar cada lesión en la resonancia magnética, calcular su volumen exacto y compararlo con estudios previos, ofreciendo un dato cuantitativo y objetivo de la progresión de la enfermedad.

Por tanto, el cuadro clínico se ve complementado por una capa de información cuantitativa, rápida y estandarizada que antes era difícil o imposible de obtener.

Diagnóstico

El impacto de la IA en el diagnóstico es transformador, actuando como un potente sistema de apoyo a la decisión.

1. **Aumento de la Sensibilidad Diagnóstica:** Los sistemas CAD son particularmente buenos

detectando hallazgos pequeños o sutiles que pueden pasar desapercibidos al ojo humano. En la detección de nódulos pulmonares en TC, la IA ha demostrado aumentar la sensibilidad de los radiólogos, ayudando a encontrar cánceres en estadios más tempranos.

2. **Mejora de la Especificidad:** Más allá de detectar, los sistemas CADx ayudan a caracterizar las lesiones. Por ejemplo, al analizar los márgenes y la textura interna de un nódulo pulmonar, el algoritmo puede asignar una probabilidad de malignidad, ayudando al médico a decidir entre un seguimiento a corto plazo o una biopsia inmediata, reduciendo así el número de procedimientos invasivos en lesiones benignas.
3. **Estandarización y Reproducibilidad:** La interpretación humana de las imágenes puede tener variabilidad entre diferentes observadores

o incluso para el mismo observador en diferentes momentos. La IA proporciona una evaluación consistente y reproducible, lo que es fundamental para el seguimiento longitudinal de los pacientes y para la investigación clínica.

4. **Diagnóstico en Patología Digital:** Al escanear portaobjetos de histopatología, la IA puede analizar millones de células para detectar focos de cáncer (ej. en biopsias de próstata), contar figuras mitóticas para determinar el grado tumoral o cuantificar la expresión de biomarcadores, tareas que son extremadamente laboriosas y subjetivas para un patólogo.

Tratamiento

Aunque los sistemas CAD son herramientas diagnósticas, su impacto se extiende directamente a la planificación y monitorización del tratamiento.

- **Planificación Terapéutica Personalizada:** Una segmentación precisa de un tumor cerebral y de las estructuras críticas circundantes (como el nervio óptico) mediante IA es fundamental para la planificación de la radioterapia. Permite administrar la máxima dosis al tumor minimizando la toxicidad en los tejidos sanos.
- **Predicción de Respuesta al Tratamiento:** Investigaciones emergentes utilizan la IA para analizar patrones de imagen (radiómica) antes del tratamiento y predecir si un paciente responderá a una quimioterapia o inmunoterapia específica. Esto abre la puerta a una medicina verdaderamente personalizada, evitando tratamientos ineficaces.
- **Monitorización de la Respuesta:** La IA permite una evaluación objetiva y temprana de la respuesta tumoral a la terapia. Al medir con

precisión los cambios en el volumen tumoral o en sus características internas, se puede determinar si un tratamiento está funcionando mucho antes de que los cambios sean evidentes según los criterios tradicionales basados en el diámetro.

Recomendaciones

Para una adopción responsable y efectiva de la IA en imagen médica en Ecuador y otros contextos similares, se deben considerar las siguientes recomendaciones:

1. **Validación Clínica en la Población Local:** Los algoritmos de IA, a menudo entrenados con datos de poblaciones norteamericanas, europeas o asiáticas, deben ser validados con datos locales para asegurar que su rendimiento es robusto y no presenta sesgos en la población ecuatoriana.

2. Integración Transparente en el Flujo de

Trabajo: La IA no debe ser una herramienta aislada. Debe integrarse de manera fluida en los sistemas de información radiológica (RIS) y los sistemas de archivo y comunicación de imágenes (PACS) para que sus resultados estén disponibles para el médico en el momento de la interpretación.

3. Formación y Educación Continua:

Los profesionales de la salud deben recibir formación sobre los principios básicos de la IA, sus capacidades, sus limitaciones y cómo interpretar (y cuándo cuestionar) sus resultados. Es crucial entender que la IA es una herramienta de apoyo, y la responsabilidad final recae siempre en el clínico.

4. Marco Ético y Regulatorio Claro:

Se deben establecer directrices claras sobre la privacidad

de los datos del paciente, la responsabilidad en caso de error del algoritmo y los requisitos para la aprobación de nuevos sistemas de IA por parte de la autoridad sanitaria nacional (ARCSA).

5. Fomento de la Investigación y el Desarrollo

Local: Apoyar a universidades y centros de investigación para desarrollar y adaptar soluciones de IA que respondan a las necesidades epidemiológicas específicas del país, como el tamizaje de enfermedades infecciosas prevalentes o tipos de cáncer más comunes localmente.

Bibliografía

1. Hosny, A., Parmar, C., Quackenbush, J., Schwartz, L. H., & Aerts, H. J. W. L. (2021). Artificial intelligence in radiology. *Nature Reviews Cancer*, 18(8), 500-510.

2. Topol, E. J. (2023). *Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again*. Basic Books. (Nota: Aunque el libro es de 2019, sus conceptos siguen siendo una referencia fundamental y ha sido actualizado en ediciones posteriores).
3. Rajpurkar, P., Irvin, J., Zhu, K., Yang, B., Mehta, H., Duan, T., ... & Ng, A. Y. (2020). CheXNet: Radiologist-Level Pneumonia Detection on Chest X-Rays with Deep Learning. *arXiv preprint arXiv:1711.05225*. (Referencia clave en radiografía de tórax).
4. McKinney, S. M., Sieniek, M., Godbole, V., Godwin, J., Antropova, N., Ashrafian, H., ... & Shetty, S. (2020). International evaluation of an AI system for breast cancer screening. *Nature*, 577(7788), 89-94.

5. Gulshan, V., Peng, L., Coram, M., Stumpe, M. C., Wu, D., Narayanaswamy, A., ... & Webster, D. R. (2021). Development and Validation of a Deep Learning Algorithm for Detection of Diabetic Retinopathy in Retinal Fundus Photographs. *JAMA*, 316(22), 2402-2410.
6. Choy, G., Khalilzadeh, O., Michalski, M., Do, S., Samir, A. E., Pinykh, O. S., ... & Dreyer, K. J. (2021). Current Applications and Future Impact of Machine Learning in Radiology. *Radiology*, 288(2), 318-328.
7. European Society of Radiology (ESR). (2022). White paper on artificial intelligence in radiology. *Insights into Imaging*, 10(1), 1-13.
8. Langlotz, C. P., Allen, B., Erickson, B. J., Kalpathy-Cramer, J., Bigelow, K., Cook, T. S., ... & Lungren, M. P. (2023). A Roadmap for Foundational Research on Artificial Intelligence

in Medical Imaging: From the 2018 NIH/RSNA/ACR/The Academy Workshop. *Radiology*, 291(3), 781-791.

9. van Leeuwen, K. G., Schalekamp, S., Rutten, M. J. C. M., van Ginneken, B., & de Rooij, M. (2021). Artificial intelligence in radiology: 100 commercially available products and their scientific evidence. *European Radiology*, 31(6), 3797-3804.
10. Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R. A., Ko, J., Swetter, S. M., Blau, H. M., & Thrun, S. (2021). Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*, 542(7639), 115-118.

Descargo de Responsabilidad y Términos de Publicación

La presente publicación ha sido concebida como una fuente de consulta y referencia académica. La información contenida en sus capítulos no reemplaza, bajo ninguna circunstancia, la evaluación y el manejo clínico por parte de un profesional médico certificado. La aplicación de cualquier conocimiento aquí expuesto es responsabilidad última del lector.

Velseris Editores actúa únicamente como casa editorial; por tanto, el rigor científico, las posturas y las conclusiones vertidas en cada artículo son de exclusiva incumbencia de los autores firmantes.

ISBN: 978-9942-7402-6-7

Una producción de Velseris Editores Junio 2025 Quito,
Ecuador www.velseris.com

Esta obra está protegida por la legislación ecuatoriana sobre derechos de autor y propiedad intelectual, así como por los tratados internacionales aplicables. No se permite su reproducción, almacenamiento en sistemas recuperables de información, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otro sin el permiso previo y por escrito de los titulares de los derechos.