







**BUAP**

**UTILIDAD DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA INTERPRETACIÓN DE  
IMÁGENES DE TOMOGRAFÍA SIMPLE DE CRÁNEO EN PACIENTES CON  
SOSPECHA DE EVENTO VASCULAR CEREBRAL DE TIPO ISQUÉMICO EN  
UN HOSPITAL DE SEGUNDO NIVEL.**



**Facultad de Medicina**

**Hospital General de Puebla.  
“Dr. Eduardo Vázquez Navarro”**

**Tesis para obtener  
el Diploma de Especialidad en  
Imagenología Diagnóstica y Terapéutica**

**Presenta:**

**Michael Efrén Vázquez Martínez**

**No de CVU:2130588**

**Directores:**

**Dra. Eleuteria Vara Ortiz  
Asesor experto.**

**Dra. Adriana Nieva Vázquez  
Asesor metodológico.**

H. Puebla de Z a FEBRERO DEL 2025



### FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE TESIS

Por medio de la presente me dirijo al Comité de Investigación del Hospital General Dr. Eduardo Vázquez N., para informar que autorizo la impresión de Tesis del Protocolo denominado: UTILIDAD DE LA INTELIGENCIA ARTÍFICIAL EN LA INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES DE TOMOGRAFÍA SIMPLE DE CRÁNEO EN PACIENTES CON SOSPECHA DE EVENTO VASCULAR CEREBRAL DE TIPO ISQUÉMICO EN UN HOSPITAL DE SEGUNDO NIVEL.

Con número de registro: HGSP-078-2024

Del Dr. Michael Efrén Vázquez Martínez

Para la obtención del título de la Especialidad de Imagenología Diagnóstica y terapéutica

Fecha: Febrero 2025

Asesor experto:

Dra. Eleuteria Vara Ortiz

\_\_\_\_\_  
Firma

Asesor Metodológico:

Dra. Adriana Nieva Vázquez.

\_\_\_\_\_  
Firma

Se autoriza impresión de Tesis

\_\_\_\_\_  
DR. JOSE EMILIO GERARDO RODRIGUEZ AGUILAR  
JEFE DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION

FECHA: FEBRERO 2025

## **AGRADECIMIENTOS**

Queridos todos:

Quiero tomar un momento para expresar mi gratitud a cada uno de ustedes.

A mis padres Cecilia y Francisco gracias por ser mi pilar y darme el apoyo incondicional que me ha guiado siempre. Su amor, enseñanza y pasión por las cosas son mi mayor tesoro.

A mis hermanos Paco y Ana les agradezco por ser mi refugio y mis compañeros de vida, por orientarme, cuidarme y motivarme. Su compañía y confianza son invaluable para mi.

A mi novia Karime gracias por estar en mi vida, y llegar al sitio donde nos teníamos que encontrar , gracias por estar a mi lado en las buenas y en las peores, por creer en mi y llenarme de amor.

A mis amigos con especial mencion a Eduardo y Neftali, gracias por su amistad, por las risas, por seguir presente en las diferentes etapas de nuestras vidas. Su apoyo significa mas de lo que puedo expresar.

Gracias a mis maestros de Radiología, gracias por compartir su conocimiento y ser una inspiración constante. Dejan una huella imborrable en mi formación y en mi vida.

A mis compañeros, quienes compartieron este viaje conmigo, gracias por su colaboración y por demostrar que juntos podemos afrontar cualquier situacion. Y por ultimo pero no menos importante a todo el personal y al hospital que nos brinda el apoyo y las facilidades para realizar nuestras actividades, les expreso mis más sincero agradecimiento.

A todos ustedes , gracias por ser parte de mi vida y por hacerla tan especial. Este logro no habría sido posible sin cada uno de ustedes.

## Índice.

<b>1. Resumen.</b> .....	<b>1</b>
<b>2.-Introducción</b> .....	<b>3</b>
<b>3. Antecedentes</b> .....	<b>4</b>
<b>3.1 Antecedentes generales.</b> .....	<b>4</b>
<b>3.2 Antecedentes específicos</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Planteamiento del problema</b> .....	<b>22</b>
<b>5. Objetivos.</b> .....	<b>24</b>
<b>5.1. General</b> .....	<b>24</b>
<b>5.2. Específicos</b> .....	<b>24</b>
<b>6. Material y métodos.</b> .....	<b>25</b>
<b>7. Resultados</b> .....	<b>32</b>
<b>8. Discusión</b> .....	<b>35</b>
<b>9. Conclusiones</b> .....	<b>38</b>
<b>10. Bibliografía</b> .....	<b>39</b>

## **1. Resumen.**

La presente investigación se centra en la aplicación de la inteligencia artificial IA en la interpretación de imágenes de tomografía simple de cráneo, específicamente para la identificación de eventos vasculares cerebrales de tipo isquémico en pacientes del Hospital general del sur de Puebla “ Dr. Eduardo Vázquez N” este tema es de suma importancia, ya que la detección temprana y precisa de estos eventos puede mejorar significativamente el pronóstico del paciente , permitiendo un tratamiento más efectivo y oportuno.

El interés para realizar este trabajo surge de la creciente carga de trabajo que enfrentan los médicos radiólogos en el hospital mencionado, donde la implementación de la IA puede ayudar a reducir esta carga y optimizar el proceso de diagnóstico. A pesar de que existen estudios previos sobre la aplicación de la IA, en la interpretación de imagen médicas, aún hay un amplio campo, por explorar en cuanto a su eficacia, precisión e implementación en diferentes contextos y poblaciones, especialmente en México.

La metodología empleada incluye un estudio descriptivo, observacional, retrospectivo y transversal que se llevó a cabo en pacientes con sospecha de evento vascular cerebral isquémico. Se valoró la precisión y eficacia de los algoritmos de IA en la detección de signos radiológicos, comparando su rendimiento con la interpretación humana. Además, se analizarán patrones de atenuación tisular en las imágenes de tomografía para detectar áreas de infarto cerebral o signos tempranos de isquemia. Los objetivos de este trabajo son claros, conocer la utilidad de la IA en interpretación de imágenes de tomografía simple de cráneo, evaluar su capacidad para acelerar el proceso, diagnóstico y proporcionar información valiosa que contribuya a la literatura científica.

La estructura del trabajo se organizó en secciones que abordarán desde el marco teórico y la metodología hasta los resultados y conclusiones, permitiendo una

comprensión integral de la investigación y sus implicaciones en el ámbito de la salud.

En conclusión esta investigación no sólo busca contribuir al conocimiento sobre la aplicación de la IA en la radiología, sino que también ofrece soluciones prácticas que mejoren la atención médica en el Hospital General del Sur de Puebla, beneficiando a los pacientes que acuden a este centro de salud.

## **2.-Introducción**

La investigación se centra en la utilidad de la inteligencia artificial en la Interpretación de imágenes de tomografía simple de cráneo para identificar eventos vasculares cerebrales, isquémicos en pacientes del Hospital general del sur de Puebla “Dr. Eduardo Vázquez N”. La detección temprana es fundamental para optimizar el pronóstico y facilitar tratamientos mas oportunos y efectivos.

### **MATERIAL Y METODOS**

Se llevó a cabo mediante un estudio descriptivo, observacional, retrospectivo y transversal, evaluando la precisión y eficacia de los algoritmos de IA, en comparación con la interpretación humana. Se analizaron patrones de atenuación tisular en imágenes de tomografía para detectar áreas de infarto cerebral y signos tempranos de isquemia.

### **RESULTADOS**

Los resultados indicaron que de un total de 147 pacientes analizados la AI logró identificar correctamente a 118 de ellos, mostrando un rendimiento comparable al del radiólogo. Se prevé que la inteligencia artificial reduzca significativamente el tiempo necesario para el diagnóstico y mejore la precisión en la detección de lesiones isquémicas agudas, lo cual resulta crucial debido a la rápida pérdida neuronal asociada a estos casos. Además, la IA ha demostrado ser una herramienta valiosa que complementa la labor del radiólogo optimizando todo el proceso diagnóstico.

### **CONCLUSION**

En conclusión, la investigación resalta la importancia de integrar la IA en la práctica clínica para mejorar la atención médica en el ámbito de la imaginología, sugiriendo que su uso puede transformar la forma en que se diagnostican y tratan los eventos vasculares cerebrales.

### **3. Antecedentes**

#### **3.1 Antecedentes generales.**

El evento vascular cerebral (EVC) se refiere como una condición médica que ocurre cuando el flujo de la sangre de una parte del cerebro se interrumpe o se reduce, impidiendo que el tejido cerebral reciba oxígeno y nutrientes. Esto puede ser causado por una obstrucción de una arteria (isquemia) o la ruptura de un vaso sanguíneo (hemorragia).<sup>1</sup>

Es importante destacar que el tiempo es un factor crítico en el tratamiento del EVC. Cuanto más rápido se restablezca el flujo sanguíneo en un accidente cerebrovascular isquémico, o se controle la hemorragia en un accidente cerebrovascular hemorrágico, habrá más posibilidades de recuperación y menor daño cerebral permanente y secuelas. Por lo tanto, la radiología juega un papel crucial en la atención aguda del EVC.<sup>2</sup>

La isquemia cerebral puede ser transitoria, sin producir daño cerebral, cuando el flujo sanguíneo se restablece de manera eficaz, o puede prolongarse hasta conducir a la destrucción de las neuronas, dando lugar al infarto cerebral. En la hemorragia intracerebral, la rotura de un vaso puede dar lugar a una colección hemática en el parénquima cerebral o en el espacio subaracnoideo.<sup>3</sup>

En la radiología, las técnicas de imagen como la tomografía computarizada (TC) y la resonancia magnética (RM) son fundamentales para el diagnóstico y manejo del EVC. Estas técnicas pueden ayudar a identificar la ubicación y la extensión del daño cerebral, así como distinguir entre un evento de tipo isquémico o hemorrágico.<sup>4</sup>

#### **3.2 Antecedentes específicos**

Evento vascular de tipo Isquémico.

El EVC de tipo isquémico es el resultado de una isquemia cerebral focal asociada a un infarto encefálico permanente. Esto ocurre cuando el suministro de sangre que va a diferentes partes del cerebro, se obstruye o se reduce, lo que evita que el tejido del cerebro reciba oxígeno y nutrientes, como resultado las neuronas cerebrales comienzan a morir en minutos.<sup>5</sup>

Las causas más frecuentes son la oclusión aterotrombótica de arterias grandes son:  
-La embolia cerebral (infarto embólico); la oclusión no trombótica de las arterias cerebrales, pequeñas y profundas (infarto lacunar).

-Estenosis de las arterias proximales con hipotensión que disminuye el flujo sanguíneo cerebral en las zonas arteriales limítrofes (accidentes cerebrovascular hemodinámico).<sup>6</sup>

Se reporta que el EVC de tipo isquémico es la forma más frecuente enfermedad vascular cerebral en México y causa entre el 50 y 70% de los casos, su mayoría están relacionados con obesidad y el sedentarismo, sin embargo, el principal factor implicado en la ocurrencia de la enfermedad es la hipertensión arterial.<sup>7</sup>

El pronóstico depende directamente del tiempo que transcurre entre el inicio de los síntomas y la instauración del tratamiento adecuado. En años recientes, se han realizado avances importantes en el manejo médico e intervencionista del EVC de tipo isquémico, lo que ha resultado en menor tasa de fallecimientos y mejor funcionalidad a corto plazo.<sup>8</sup>

La ECV representa un problema de salud pública. La tasa de recurrencia de dos años va del 10 al 22%, pero puede reducirse hasta en 80 % con la modificación de factores de riesgo. La Secretaría de Salud reporta que en la ausencia de intervención de prevención adecuadas, se estima que para el año 2030, su incidencia se incrementará hasta 44% . En México muestran que la tasa de mortalidad por EVC ha incrementado a partir del año 2000, particularmente en menores de 65 años.<sup>9</sup>

## Evento vascular cerebral de tipo hemorrágico

El EVC de tipo hemorrágico, también conocido como derrame cerebral o ictus hemorrágico, ocurre cuando los vasos sanguíneos cerebrales, son débiles, anormales o soportan una presión inusual y ocasiona hemorragia en el cerebro. El EVC es un problema de salud pública, según la organización mundial de la salud (OMS) , además, es la segunda causa global de muerte (9.7%) de las cuales 4.95 millones ocurren en países con ingresos medios y bajos.<sup>10</sup>

En México, la tasa de mortalidad por EVC se ha incrementado a partir del año 2000, particularmente en mayores de 65. Durante el 2007 del total de egresos en hospitales públicos, el 1% fue atribuido al EVC. En 2008, la tasa de mortalidad fue de 28.3

/100,000 habitantes según varios reportes. En un estudio realizado en un hospital de la ciudad de México, se encontró que el 78.5% de los pacientes presentaron un EVC isquémico. La media de edad fue de 75.27,  $\pm$  11.44 años en el EVC isquémico y de 71.62  $\pm$  11.72 años en el EVC de tipo hemorrágico. 11

El antecedente de hipertensión arterial se encontró en más del 70% de los pacientes en ambos tipos de evento vascular cerebral. La mortalidad hospitalaria fue del 15.5% en el EVC isquémico y del 21.5 % en el EVC hemorrágico.11.

El tejido cerebral puede sangrar después de un EVC de tipo isquémico, que es causado por un bloqueo del suministro de sangre, esto daña el tejido cerebral haciéndolo frágil y propenso a sangrar nuevamente. Existe un riesgo especialmente alto de un EVC hemorrágico después de un EVC de tipo isquémico extenso que causo daño cerebral e hinchazón del tejido. A esto se le conoce como una conversión hemorrágica.12

Los investigadores estiman que aproximadamente el 13% de los casos de EVC son hemorrágicos. Existen diferentes tipos de EVC hemorrágico. Una hemorragia intracerebral es el tipo más común.13.

## Factores de riesgo.

Hay algunos factores de riesgo que se pueden modificar y que tienen un importante aumento del riesgo de padecer un EVC, tales como hipertensión arterial, sistémica, tabaquismo, dislipidemia, diabetes, resistencia a la insulina, obesidad abdominal, con su excesivo de alcohol, falta de actividad física, dieta de alto riesgo.(dieta rica en grasas saturadas) grasas , trans y calorías, estrés psicosocial (por ejemplo, la depresión), cardiopatías (en especial, trastornos que predisponen a la embolia), infarto agudo del miocardio, carditis infecciosa, fibrilación auricular, estenosis de la arteria carotídea, consumo de alguna droga (por ejemplo, cocaína, anfetaminas, etc. ), hipercoagulabilidad, vasculitis, uso de estrógenos, exógenos, entre otros tantos que han demostrado ser un factor importante y que si se modifican los hábitos puede ser favorable para evitar el desarrollo de la enfermedad. 14

La American Heart Association( AHA) , aborda las emergencias en el paciente con sospecha de hemorragia, la recolección de historias clínicas, enfocadas, el manejo de la presión arterial en pacientes con EVC hemorrágico, la corrección de

coagulopatía basadas en medicamentos y el diagnóstico de la HSA. En pacientes con EVC hemorrágico que presentan una presión arterial sistólica (PAS ) de entre 150 y 200 mmHg y que no presentan contraindicación para el tratamiento agudo de la presión arterial, pueden tener una reducción aguda de la PAS a 140 mmHg, lo cual se considera seguro y efectivo para mejorar el resultado funcional. Además, se discute que el último tipo de EVC sin un tratamiento primario es la hemorragia intracerebral (HIC). Se menciona que la prioridad estratégica para la HIC es determinar el valor de la estabilidad temprana y adquirir conocimiento científico sobre la hipótesis de reducción del volumen.<sup>15</sup>

## Fisiopatología

La fisiopatología del EVC, se caracteriza por una serie de eventos interrelacionados que suceden posterior a la interrupción del flujo sanguíneo al cerebro. Este evento desencadena una cascada de reacciones que afectan directamente a las células neuronales y células gliales.<sup>16</sup>

El flujo sanguíneo es llevado al parénquima cerebral a los diferentes territorios por medio de las dos arterias carótidas internas de manera anterior y por las dos arterias vertebrales en las porciones más posteriores ( polígono de Willis).

Lo primero que ocurre es la neuroinflamación. Esta juega un papel crucial debido a la activación de la microglía y de los macrófagos que contribuyen a la eliminación de las células dañadas, pero también exacerban la afectación neuronal.<sup>16</sup>

El segundo paso que sucede es la excitotoxicidad donde el exceso de glutamato provoca una sobrecarga de calcio en las neuronas que la llevan a la muerte celular.<sup>16</sup>

El tercer paso está constituido por el estrés oxidativo, donde la acumulación de especies reactivas de oxígeno daña la membrana celular y afectan al ácido desoxirribonucleico (ADN) contribuyendo a la muerte neuronal.<sup>16</sup>

El siguiente paso que ocurre se denomina apoptosis o muerte celular, la cual está caracterizada por una respuesta ante la falta de oxígeno y nutrientes que se caracteriza por cambios morfológicos específicos en las células.<sup>16</sup>

El paso final, se denomina autofagia en el cual las células intentan eliminar los componentes dañados, como si fuera un sistema de limpieza interno. Sin

embargo, si este proceso se descontrola puede volverse perjudicial. Cuando ocurre un daño en el cerebro, especialmente en áreas críticas, muchas células pueden sufrir lesiones y reversibles, sin embargo, hay regiones conocidas como penumbra, isquémica, donde aún hay esperanza si se aplican las intervenciones adecuadas para que estas células puedan ser salvadas.<sup>16</sup>

Comprender estos mecanismos es fundamental para desarrollar estrategias terapéuticas que mitiguen el daño neuronal y mejoren los resultados en pacientes que sufran eventos vasculares cerebrales.

## Clínica

Los síntomas de un EVC son muy variados y van en función del área cerebral que se encuentra afectada. Incluye desde síntomas puramente sensoriales, motores y sensitivos. Los síntomas más frecuentes pueden ir desde hemiplejia/hemiparesia, afasia, dificultad de caminar, pérdida de la coordinación, mareos, dolores de cabeza, e incluso pérdida de la visión en uno o ambos ojos.<sup>17</sup>

A continuación se presenta una tabla de los signos y síntomas más comunes, su descripción y su frecuencia dentro del padecimiento.

Tabla 1.

<b>Signo o Síntoma</b>	<b>Descripción</b>	<b>Frecuencia / Observación</b>
<b>Hemiparesia o Hemiplejia</b>	Debilidad o parálisis de un lado del cuerpo (cara, brazo y pierna).	Muy común, usualmente ocurre en el lado opuesto al área afectada.
<b>Afasia</b>	Dificultad para hablar o comprender el lenguaje.	Afecta a la capacidad de comunicación, más frecuente en EVC de hemisferio izquierdo.
<b>Disartria</b>	Dificultad para articular palabras, debido a debilidad en los músculos de la boca y garganta.	Puede acompañar a la hemiparesia.

<b>Pérdida de visión o visión doble</b>	Pérdida temporal o permanente de la visión en un ojo o visión doble.	Frecuente en lesiones de la arteria oftálmica o ramas de la carótida interna.
<b>Ataxia</b>	Dificultad para coordinar los movimientos o caminar.	Puede indicar afectación del cerebelo o estructuras cercanas.
<b>Náuseas y Vómitos</b>	Sensación de malestar estomacal y vómitos, especialmente si la lesión involucra el tronco encefálico.	Puede estar relacionado con aumento de la presión intracraneal.
<b>Confusión o Desorientación</b>	Alteraciones en la percepción del entorno, dificultad para reconocer personas o lugares.	Frecuente, sobre todo si el EVC afecta áreas cerebrales asociadas con la memoria y el pensamiento.
<b>Amaurosis Fugaz</b>	Pérdida temporal de la visión en un ojo, generalmente por bloqueo de la arteria retinal.	Frecuente en EVC de la carótida interna, precursor en algunos casos.
<b>Dolor de cabeza</b>	Dolor de cabeza súbito, que puede ser muy intenso.	Más común en los EVC hemorrágicos, pero también puede presentarse en los isquémicos.
<b>Alteración en el nivel de conciencia</b>	Estado de confusión, somnolencia o coma en casos graves.	Más común si hay una afectación extensa o comprometida la perfusión cerebral.

## Diagnóstico.

La Tomografía computarizada (TC) es una herramienta valiosa para evaluar pacientes con sospecha de EVC de tipo isquémico.

El accidente cerebrovascular isquémico es un episodio de disfunción neurológica debido a un infarto focal en el sistema nervioso central, atribuido a trombosis arterial, embolización o hipoperfusión crítica. Si bien el accidente cerebrovascular isquémico se definió formalmente para incluir los infartos cerebrales de la médula espinal y de la retina.<sup>18</sup>

El término accidente cerebrovascular es una determinación clínica, mientras que infarto es fundamentalmente un término patológico. Para unir estos términos en el accidente cerebrovascular isquémico es el tipo de accidente cerebrovascular que requiere tanto un déficit neurológico clínico, evidencia de infarto del sistema nervioso central (muerte atribuible a la isquemia). La evidencia de infarto puede bajarse en imágenes, patología y síntomas neurológicos persistentes con exclusión de otras causas.<sup>18</sup>

Si hay imágenes evidencia patológica de un infarto, pero no hay síntomas clínicos atribuibles entonces se llama infarto silencioso del sistema nervioso central. <sup>19</sup>

Es una causa importante de morbilidad y mortalidad a nivel mundial. Su incidencia ha aumentado en países subdesarrollados, donde se reportan al menos 2/3 de los casos anualmente. El pronóstico depende del tiempo entre el inicio de los síntomas y el tratamiento adecuado. Avances recientes en el manejo médico e intervencionista han mejorado la funcionalidad a corto plazo.<sup>20</sup>

## Características radiográficas.

Muchas instituciones gubernamentales y privadas cuentan con un código destinado a acelerar el diagnóstico y el tratamiento de los pacientes en pacientes con sospecha de un evento vascular cerebral de tipo isquémico en el que se requieren estudios de imagen como la tomografía de cráneos, sin contraste, la perfusión por TC y la angiografía por tomografía computarizada. El envejecimiento de los accidentes cerebrovasculares isquémicos pueden ser importantes en una serie de entornos

clínicos y legales. Tanto la TC como la resonancia magnética ayudan a determinar el tiempo en el que se presentó el EVC.<sup>20</sup>

- Hiperagudo temprano de 0 a 6 horas.
- Hiperagudo tardío de 6 a 24 horas.
- Agudo: 24 horas a 1 semana.
- Subagudo: 1 a 3 semanas.
- Crónico: más de 3 semanas.

### Hallazgos tomográficos.

La tomografía de cráneo, sin contraste continúa siendo el pilar de las imágenes en el contexto de un paciente con la sospecha de un evento vascular cerebral de tipo isquémico. Los beneficios es que es rápido, económico y está ampliamente disponible. La principal limitación es que tiene una sensibilidad limitada en el entorno agudo. La detección depende del territorio, de la experiencia del radiólogo que interprete y por supuesto del tiempo transcurrido desde que iniciaron los síntomas del paciente. Por ejemplo, se ha demostrado que la detección del infarto de territorio de la arteria cerebral media. Es aproximadamente el 60 al 70% en las primeras seis horas, aunque los cambios en los núcleos de la materia gris profunda (especialmente el núcleo lentiforme ) pueden ser visibles dentro de la primera hora de la oclusión hasta en el 60% de los pacientes.<sup>21</sup>

Los objetivos de la TC de cráneo en el entorno agudo son:

- Excluir la hemorragia intracraneal, lo que incluiría la trombolisis.
- Buscar cualquier característica temprana de la isquemia.
- Excluir otras patologías intracraneales que puedan imitar un accidente cerebrovascular como lo puedo ocasionar un tumor.

### Inmediato.

El primer signo de TC de cráneo simple es el vaso hiperdenso como se observa en la imagen 1.la cuál representa la visualización directa del trombo/ embolia intravascular y como tal, es visible de inmediato. Se puede identificar en cualquier vaso, sin embargo se observa con mayor frecuencia a nivel de la arteria cerebral

media, puede ser de valor terapéutico y pronóstico diferenciar este foco tromboembólico “regular “ hiperdenso de la embolia cerebral calcificada.<sup>22</sup>



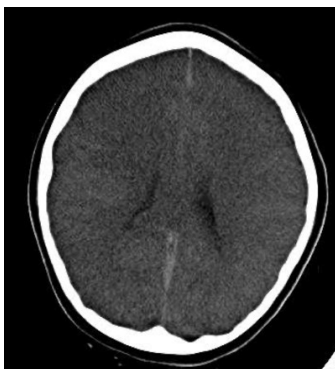
**Imagen 1.** Tomografía simple de cráneo, en un corte axial, en una ventana para parénquima cerebral, a nivel de los globos oculares, donde del lado izquierdo observamos el signo del vaso hiperdenso en la Arteria cerebral media izquierda.

### Hiperaguda temprana.

Se observa dentro de las primeras seis horas, se ven una serie de signos, dependiendo del sitio de oclusión y la presencia del flujo colateral. Las primeras características incluyen:

- Pérdida de la diferenciación de la sustancia gris-blanca e hipo atenuación de los núcleos profundos. Hasta en el 75% de los pacientes a las tres horas se pueden observar cambios en el núcleo lentiforme (imagen 2).
- Hipodensidad cortical con hinchazón del parénquima asociada con eliminación giral resultante. La corteza tiene suministro colateral deficiente (por ejemplo, la región insular) es más vulnerable. (imagen 3).

Para observar la pérdida de la diferenciación de la sustancia gris-blanca (Imagen 4) , podemos utilizar una ventana que tiene un ancho estrecho y centro ligeramente más bajo que la ventana cerebral de rutina ( W8, C 32 ).<sup>23</sup>



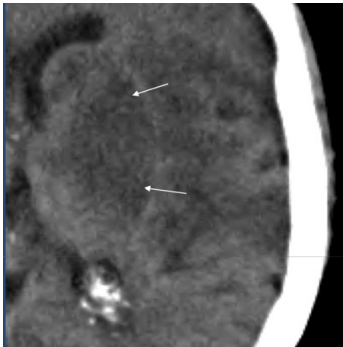
**Imagen 2.** TC de cráneo simple donde observamos la pérdida de la diferenciación de la sustancia gris y blanca.



**Imagen 3.** Tc de cráneo simple donde se identifica el signo del ribete insular.



**Imagen 4.** Tc de cráneo simple donde observamos una hipodensidad cortico-subcortical en el hemisferio cerebral derecho con pérdida de los surcos y cisuras.



**Imagen 5.** Tc de cráneo simple donde se visualiza la hipodensidad del núcleo lenticular.

**a). Agudo.**

La hipotensión y la hinchazón se vuelven más marcadas con el tiempo, lo que resulta en un efecto de masa que es más evidente. Esta es una de las principales causas de daño secundario en pacientes con infartos de gran tamaño.<sup>24</sup>

### **b). Subagudo.**

Conforme evoluciona la enfermedad, la hinchazón comienza a disminuir y se observan pequeñas cantidades de hemorragias petequiales corticales que se deberán diferenciar de la transformación hemorrágica, lo que lleva a una elevación de la atenuación de la corteza. Esto es conocido como el fenómeno de Empa por tomografía. La imagen de un derrame cerebral. En este momento puede ser engañosa, ya que la corteza afectada parecería casi normal.<sup>18</sup>

### **c). Crónica.**

La hinchazón residual pasa y la gliosis aparece finalmente como una región de baja densidad con un efecto de masa negativo. En ocasiones la mineralización cortical se puede observar hiperdensa.<sup>25</sup>

### **Tratamiento:**

El tratamiento de pacientes con evento vascular cerebral isquémico se centra en la restauración del flujo sanguíneo al cerebro y la prevención de eventos futuros. Los pilares del tratamiento se basan principalmente en trombolisis intravenosa. La cual consiste en la administración de alteplasa (tPA) el cual es el tratamiento de primera línea en pacientes con EVC de tipo isquémico en fase aguda y deberá de administrarse dentro de las primeras 3 a 4.5 horas posterior al inicio de los síntomas. Es el único medicamento aprobado por la Food and Drugs administration (FDA).<sup>26</sup>

Trombectomía mecánica. Esto se encuentra indicado en casos de oclusiones de grandes vasos y se recomienda hasta 24 horas después del inicio de los síntomas, especialmente en pacientes con penumbra isquémica.<sup>27</sup>

Manejo de los factores de riesgo. Es crucial, modificar factores de riesgo. Tales, como hipertensión, diabetes, dislipidemia, entre otros, por lo cual es necesario la administración de medicamentos, antihipertensivos, antidiabéticos y estatinas según sea necesario.<sup>28</sup>

Anticoagulación. Se puede considerar la anticoagulación dependiendo de la etiología del evento vascular cerebral. Por ejemplo, en los casos de fibrilación auricular o la terapia de antiagregante plaquetario como la aspirina o el clopidogrel para la prevención secundaria.<sup>29</sup>

Rehabilitación. La rehabilitación temprana es fundamental para mejorar la recuperación funcional del paciente, esto incluye terapia física, ocupacional y del habla.<sup>30</sup>

Por lo que concluimos que los pacientes que sufren EVC isquémico requieren de un enfoque multidisciplinario que abarca desde la intervención aguda hasta la prevención a largo plazo, la personalización del tratamiento según las características del paciente y la causa subyacente. Es esencial para optimizar los resultados.

## Antecedentes de la tomografía.

La Tomografía Computarizada (TC) tiene una historia fascinante que ha transformado la medicina y el surgimiento de la especialidad médica de la radiología. En la década de 1910-1930, se realizaron los primeros experimentos utilizando los rayos X para obtener imágenes del cuerpo humano. Éstos eran los primeros intentos de obtener imágenes bidimensionales que eran útiles, pero tenían limitaciones significativas en términos de resolución y detalle.<sup>31</sup>

En la década de 1950, se desarrollaron técnicas mejoradas de radiografía que permitían obtener imágenes más nítidas y detalladas. Sin embargo, seguían siendo imágenes bidimensionales que limitaban la capacidad de visualización de estructuras tridimensionales en el cuerpo. La tomografía se le atribuye al ingeniero británico Godfrey Hounsfield y al físico americano de origen sudafricano Allan Cormack quienes desarrollaron por separado los principios fundamentales de la técnica en la década de 1960.<sup>31</sup>

Hounsfield desarrolló el concepto de la tomografía axial computarizada ( TAC ) mientras que Cormack trabajó en los fundamentos matemáticos para la reconstrucción de imágenes a partir de múltiples ángulos de Rayos X .<sup>32</sup>

En 1971 Godfrey Hounsfield construyó el primer prototipo funcional de un tomógrafo axial computarizado en la compañía británica EMI (Electric and Musical Industries).<sup>33</sup>

En 1972 se realiza la primera TC la cual fue de cráneo y esta imagen revolucionaria permitió a los médicos ver el interior del cuerpo humano de una manera, nunca antes vista.<sup>34</sup>

En 1979 ambos fueron reconocidos como los creadores de la tomografía axial computarizada haciéndose acreedores al premio Nobel de dicho año. <sup>35</sup>

En 1979, se llevó a cabo el desarrollo de la tomografía computarizada de emisión de fotón único (SPECT el cual utiliza una cámara gama para crear imágenes de la distribución de radio Farma con el cuerpo humano. Principalmente se utiliza para la detección de tumores y enfermedades cardiovasculares.<sup>36</sup>

En 1985, se desarrolla la tomografía computarizada por emisión de positrones (PET), el cual utiliza una sustancia radioactiva para crear imágenes detalladas de los órganos y tejidos del cuerpo humano. Principalmente es utilizada para la detección de cáncer y enfermedades neurológicas. <sup>3</sup>

En 1998 se desarrolla la tomografía computarizada de doble energía, la cual utiliza dos tipos diferentes de rayos X para crear imágenes más precisas de los tejidos y los huesos del cuerpo humano. Se utiliza principalmente para la detección de enfermedades cardiovasculares y la planificación de cirugías ortopédicas. <sup>38</sup>

En el año 2005, se logró un importante hito con el desarrollo de la tomografía computarizada de 64 cortes, esta tecnología permitió obtener imágenes más detalladas y precisas a adquirir múltiples cortes en un solo barrido helicoidal, la resolución espacial mejorada fue especialmente útil en el diagnóstico de enfermedades cardiovasculares, la planificación de cirugías y la detección de tumores. <sup>39</sup>

Los tomógrafos dual energy y dual source fueron comercializados a partir del año 2000, los cuales utilizan dos tipos diferentes de rayos X para crear imágenes más precisas de los tejidos blandos y los huesos del cuerpo humano. La técnica de doble energía ha sido útil en la detección de enfermedades cardiovasculares y en la evaluación de la composición de los cálculos renales. La TC revolucionó la medicina al proporcionar imágenes detalladas de estructuras internas del cuerpo humano, de una manera no invasiva y con una resolución sin precedentes. Ha evolucionado significativamente con mejoras en la velocidad de escaneo, en la resolución de imágenes y en la reducción de la exposición a la radiación lo que la convierte en una herramienta indispensable en el diagnóstico y tratamiento de una amplia gama de enfermedades y condiciones médicas.<sup>40</sup>

## Inteligencia artificial.

La inteligencia artificial (IA) es una rama de la ciencia informática que tiene como objetivo diseñar tecnología capaz de emular la inteligencia humana. Lo hace a través de algoritmos y sistemas especializados que llevan a cabo procesos propios de la inteligencia humana, como aprender, razonar o autocorregirse.<sup>41</sup>

La IA no busca reemplazar a los humanos, sino contribuir al desarrollo personal del individuo que la implementa. Sus diferentes aplicaciones tienen como meta mejorar tanto el desempeño como la experiencia de sus usuarios. Para entender cómo funciona la inteligencia artificial, es importante considerar que todos los sistemas de IA manejan datos. Si bien el diseño de algoritmos y sistemas innovadores es esencial, los datos son pieza clave para su éxito. Cuántos más datos reciba un sistema de IA, más podrá aprender en menos tiempo. Al procesar esta información, el software puede identificar patrones y aprender a responder según sus objetivos.<sup>42</sup>

## La Inteligencia Artificial en la Medicina.

En la década de 1970, se comienza el análisis de imágenes médicas como tomografías, computarizadas y resonancias magnéticas. En la década de los 80 los modelos de machine learning se utilizan para observar los signos vitales de los pacientes que reciben cuidados intensivos y alerta, a los médicos se aumentan ciertos factores de riesgo. En 1990, la IA permite la personalización de tratamientos médicos, mejorando la eficacia de estos y reduciendo los efectos secundarios.<sup>43</sup>

En la década del 2000, IA se utiliza en el campo de la genética para analizar grandes cantidades de datos y descubrir patrones que pueden llevar a la detección temprana de enfermedades genéticas.<sup>43</sup>

En la década del 2010, se empiezan a utilizar las prótesis de extremidades controladas por inteligencia artificial. En la década del 2020 la inteligencia artificial permite reducir la frecuencia de errores médicos y mejorar la precisión diagnóstica, a través de la integración, el análisis y la interpretación de la información por algoritmos y software.<sup>44</sup>

En el 2019 se desarrolla un algoritmo de inteligencia artificial que después de 10 años de entrenamiento con una gran cantidad de imágenes relacionadas con el cáncer. Logra un hito importante en el diagnóstico de esta enfermedad al hacer una comparación con 101 radiólogos expertos en el diagnóstico de cáncer de mama por mamografía.<sup>45</sup>

## Inteligencia Artificial en la Radiología médica.

Un estudio detallado revela que la IA está catalizando cambios, transforma finales en el panorama de la tensión médica ya que tiene aplicaciones fundamentales en la radiología, incluyendo la segmentación de imágenes, el diagnóstico asistido por computadora, el análisis predictivo y la optimización del flujo de trabajo, sin embargo, la IA, no está exenta de desafíos como la calidad de los datos, el enigma de la “caja negra”, la complejidad, infraestructural y técnica, así como las implicaciones éticas.<sup>46</sup>

La IA y el aprendizaje automático prometen ofrecer a la radiología nuevas herramientas digitales poderosas para facilitar la próxima transformación. Se proponen tres caminos para el papel de la inteligencia artificial. En la radiología más allá de las capacidades intelectuales, basadas en:

- Mejorar el rendimiento del diagnóstico asistido por computadoras.
- Mejorar la productividad del servicio de radiología mediante el flujo de trabajo asistido por IA.
- Radiómica que integran los datos de radiología, patología y genómica para facilitar la aparición de un nuevo servicio de diagnóstico integrado.<sup>47</sup>

Desde la implementación clínica de las tecnologías radicales nuevas, como las máquinas de tomografía computarizada de conteo de fotones hasta los prometedores desarrollos de herramientas como PoCUS, la investigación actual está introduciendo nuevas tecnologías, eficientes y rentables. Tiene una amplia aplicación en la radiología, que se extiende más allá de la interpretación de imágenes, se han descrito muchos casos de usos potenciales, incluyendo la facilitación de la elaboración de informes de radiología, los flujos de trabajo de radiología, la cuantificación de imágenes, la salud de la población, la protocolización de estudios,

la educación, la mejora de la calidad de la imagen y la disminución del tiempo de adquisición de exploración.<sup>43</sup>

### La aplicación de la inteligencia artificial en el área médica.

La aplicación de la inteligencia artificial en el área médica en México todavía está en etapas iniciales y se enfrenta varios desafíos, aunque la inteligencia artificial promete una transformación significativa en el cuidado de la salud en todas las áreas médicas, su implementación es aún limitada.

Uno de los principales desafíos es la falta de regulaciones de salud digital. A medida que México avanza hacia la institucionalización de estas regulaciones y busca mejorar los estándares de atención médica, la combinación efectiva de la inteligencia artificial y el conocimiento humano puede conducir a un sistema de atención médica más eficiente, accesible y centrada en el bienestar de los pacientes. Además, la inteligencia artificial ofrece diagnósticos precisos más rápidamente, mejorar el control y el seguimiento de los pacientes crónicos mediante dispositivos electrónicos, aliviar la carga de trabajo de los profesionales médicos y reducir los tiempos de investigación para el desarrollo de nuevos fármacos y el tratamiento de determinadas enfermedades. Sin embargo, la implementación de estas tecnologías es limitada. Por otro lado, la inteligencia artificial puede reducir la frecuencia de errores médicos y mejorar la precisión diagnóstica, a través de la integración, análisis e interpretación de información por algoritmos y software. A pesar de estos beneficios potenciales, la adopción de la inteligencia artificial en el área médica en México es aún limitada. En resumen, aunque la inteligencia artificial tiene el potencial de revolucionar la atención médica en México, su aplicación todavía es limitada debido a varios desafíos, incluyendo la falta de regulaciones de salud digital, la falta de herramientas y plataformas para desarrollar modelos de inteligencia artificial y la resistencia de la adopción de nuevas tecnologías. Estos desafíos representan áreas clave que deben ser abordadas para facilitar la adopción y uso efectivo de la inteligencia artificial en el área médica en México.<sup>48</sup>

### Implicaciones del personal de salud en la radiología.

La falta de actualización en el campo de la radiología en relación con la IA presenta varios desafíos en México:

- Inconsistencias técnicas que dificultan el uso efectivo de la inteligencia artificial.
- Proceso de implementación poco estructurado.
- Aceptación de la inteligencia artificial, por parte de los radiólogos y de los pacientes para su implementación.
- El valor añadido de la IA en la radiología puede no estar claro, lo que puede generar resistencia a su adopción.
- Implementación de la inteligencia artificial en cuestiones de cumplimiento de las legislación, ética, de privacidad de datos, y de ciberseguridad.
- El sesgo en los datos de entrenamiento puede llevar a resultados sesgados, lo que puede afectar la precisión y la utilidad de los sistemas de IA.
- El agotamiento físico y mental después de horas de evaluación de imágenes puede provocar análisis erróneos e incompletos, y la IA tiene el potencial de aliviar esta carga. Estos desafíos representan áreas clave que deben ser abordadas para facilitar la adopción y el uso efectivo de la IA en la radiología en México.

## JUSTIFICACIÓN

El tiempo en el que el paciente acude a recibir atención médica posterior al evento vascular es crucial para que el paciente tenga un mejor pronóstico y menor cantidad de tejido cerebral afectado, sin embargo, es complicado ver una zona de isquemia por tomografía en fases iniciales, lo que puede ser un desafío para el ojo poco entrenado.

La interpretación del estudio de un paciente con sospecha de EVC debe obtenerse lo más pronto posible, por parte del servicio solicitante. Sin embargo, ese tiempo puede variar dependiendo de la institución donde se realice el estudio y la experiencia del médico radiólogo encargado de la interpretación del estudio.

La Sociedad Americana de Neurología, el colegio americano de radiología y la sociedad neurológica de intervención recomiendan que la interpretación se realice en menos de 45 minutos, este tiempo es crucial, ya que determinará si el paciente es candidato para la terapia de Reperusión intravenosa con el activador tisular del plasminógeno.

Estudios previos muestran que hasta 1.9 millones de neuronas se pierden por minuto en la fición de la arteria cerebral media. Dada la velocidad es imperativo reducir el tiempo para diagnosticar un evento vascular cerebral de tipo isquémico, y así el tratamiento puede empezar lo más rápido posible, evitando repercusiones y discapacidad en los pacientes.

Debido a la rápida progresión de la afección neuronal es imperativo contar con estudios de neuroimagen lo más rápido posible.

La detección de las lesiones isquémicas agudas puede ser difícil de identificar para el ojo humano ya que solo percibe cerca de 17 colores en escala de grises y deben de tener una diferencia de 6 % en el color para que el ojo humano lo perciba como una tonalidad distinta del color. Otra de los errores humanos que implica la correcta interpretación de una tomografía de cráneo es que el cerebro es una zona compleja de estudiar y comprender en cuanto a su anatomía y por último el no contar con el tiempo necesario para valorar detenidamente un estudio debido a la sobrecarga laboral que implica estar en una institución de salud pública.

## 4. Planteamiento del problema

El accidente cerebrovascular es la segunda causa de mortalidad en el mundo con 5.5 millones de muertes. Es la principal causa de incapacidad en países industrializados.

De los pacientes que presentan evento vascular cerebral, el 84.4%, son de tipo isquémico, usualmente causado por una aterosclerosis, cardioembolismo o oclusión de pequeños vasos. El evento vascular isquémico, es responsable de aproximadamente el 10% de las muertes en países industrializados, y es responsable de una gran carga de discapacidad de la comunidad; Esto incluye todas las alteraciones de la encéfalo secundaria a un trastorno del aporte circulatorio.

El EVC constituye una emergencia médica que demanda atención inmediata, con un diagnóstico rápido y preciso, se puede administrar de manera oportuna el tratamiento adecuado con el fin de reducir el daño cerebral. La Tomografía simple de cráneo representa una herramienta esencial para el diagnóstico de EVC; no obstante, la interpretación de imágenes puede resultar compleja y estar sujeta a errores humanos.

La aplicación de la inteligencia artificial (IA) en el campo de la medicina, y en particular en la interpretación de imágenes médicas, es un área de investigación en rápido crecimiento y de manera constante. La IA tiene el potencial de mejorar la precisión, la eficiencia del diagnóstico médico y disminuir el tiempo puerta-imagen, lo que puede llevar a que el paciente tenga menor grado de complicaciones. En el caso específico de los eventos vasculares cerebrales de tipo isquémico, un diagnóstico rápido y preciso es crucial para el tratamiento efectivo y la recuperación del paciente.

Además, el Hospital General del Sur de Puebla “Dr. Eduardo Vázquez N” atiende a una gran cantidad de pacientes y la carga de trabajo para los médicos radiólogos puede ser alta. La implementación de la IA en la interpretación de las tomografías simples de cráneo podría ayudar a aliviar esta carga y permitir un diagnóstico más rápido y más certero.

Por último, aunque existen estudios sobre la aplicación de la IA en la interpretación de imágenes médicas, aún hay mucho por explorar en términos

de su eficacia y precisión en diferentes contextos y poblaciones. Esta investigación podría contribuir a este campo y proporcionar información valiosa sobre la aplicación de la IA en el diagnóstico de eventos vasculares cerebrales de tipo isquémico en México.

La IA y la radiología pueden tener una coexistencia armónica que contribuya a reducir el número de TCCS sin aportar datos clínicamente relevantes. Esta colaboración busca optimizar la utilización de recursos y mejorar la atención médica para una detección y tratamiento eficaces del EVC.

La detección temprana y precisa de un evento vascular cerebral isquémico puede mejorar significativamente el pronóstico del paciente. La IA podría ayudar a detectar estos eventos más rápidamente, lo que podría permitir un tratamiento más temprano y potencialmente más efectivo.

La IA tiene el potencial de aumentar la eficiencia en el diagnóstico de enfermedades, lo que podría liberar tiempo para que los médicos se concentren en otras tareas importantes.

La presente investigación podría contribuir a la literatura científica existente sobre la aplicación de la IA en la interpretación de imágenes médicas, y podría proporcionar información valiosa para futuras investigaciones en este campo.

Dado que la investigación se centrará en pacientes del Hospital General del Sur de Puebla "Dr. Eduardo Vázquez " N", los resultados podrían tener aplicaciones directas y beneficiar a los pacientes que acuden al hospital general del sur de Puebla "Dr. Eduardo Vázquez N".

**Por lo anterior el presente trabajo aborda la siguiente pregunta de investigación:**

*¿Conocer la utilidad de la inteligencia artificial en la interpretación de imágenes de tomografía simple de cráneo para identificar posibles eventos vasculares cerebrales de tipo isquémico en pacientes del Hospital General del Sur de Puebla "Dr. Eduardo Vázquez N"?*

## 5. Objetivos.

### 5.1. General.

- Conocer la utilidad de la inteligencia artificial en la interpretación de imágenes de tomografía simple de cráneo en pacientes con sospecha de evento vascular cerebral de tipo isquémico en el Hospital General del Sur de Puebla "Dr. Eduardo Vázquez N de Junio del 2023 a Noviembre del 2024.

### 5.2. Específicos

- Se evaluó la precisión y eficacia de los algoritmos de la IA para la detección temprana de signos radiológicos de evento vascular cerebral en imágenes de tomografía simple de cráneo.
- Se comparó el rendimiento de estos algoritmos con la interpretación humana y determinar su sensibilidad, especificidad y precisión
- Se evaluó cómo la IA puede acelerar el proceso de diagnóstico al proporcionar resultados rápidos y precisos.
- Se analizó patrones de atenuación tisular en las imágenes de TC para detectar áreas de infarto cerebral o signos tempranos de isquemia.

## **6. Material y métodos.**

### **Método.**

Se realizó un estudio descriptivo, observacional. Retrospectivo, transversal en pacientes con sospecha de EVC de tipo isquémico.

### **Materiales.**

El estudio se llevó a cabo en los pacientes con sospecha de EVC de tipo isquémico en el Hospital General del Sur de Puebla “Dr. Eduardo Vázquez N.” en el estado de Puebla durante el periodo de Junio del 2024 a Noviembre del 2024. La población incluida fueron pacientes adultos con sospecha de EVC de tipo isquémico que acudían al departamento de Imagenología diagnóstica y terapéutica del hospital.

Los estudios de tomografía simple de cráneo fueron realizados en el tomógrafo institucional del hospital marca General Electric de 128 cortes.

En este estudio se incluyeron 278 pacientes con diagnóstico probable de EVC de tipo isquémico, dichas tomografías fueron analizadas por médicos radiólogos en formación en comparación con la utilidad de la inteligencia artificial.

### **Criterios de selección de las unidades de muestreo.**

#### *Criterios de inclusión:*

Pacientes de ambos sexos de 18 a 75 años.

Pacientes con sospecha de evento vascular cerebral de tipo isquémico.

Pacientes con comorbilidades como obesidad, diabetes mellitus tipo 2, hipertensión arterial sistémica y trastornos de ansiedad generalizada.

*Criterios de exclusión:*

Pacientes menores de 18 años y mayores de 75 años.

Pacientes con Evento vascular de tipo hemorrágico o embólico.

Pacientes embarazadas.

Pacientes con imágenes de tomografía que presenten artefactos significativos.

Pacientes con traumatismos craneoencefálico.

Pacientes con malformaciones estructurales cerebrales congénitas o adquiridas.

Pacientes con tumores cerebrales malignos o benignos.

*Criterios de eliminación:*

Pacientes que no cumplen con los criterios de inclusión establecidos.

Imágenes de tomografía de baja calidad que no permitan una interpretación precisa.

Errores en la recolección de datos o en la obtención de las imágenes.

**Estrategia de trabajo.**

**ETAPA 1.** Se seleccionó a los pacientes con sospecha de diagnóstico de EVC de por el equipo médico del hospital de segundo nivel. La selección de pacientes se basó en los criterios de inclusión, exclusión y eliminación. Se recopiló información clínica de cada paciente en el formato diseñado para el estudio (Anexo).

**ETAPA 2.** Los pacientes y familiares aceptaron la realización de la tomografía simple de cráneo.

**ETAPA 3.** Se aceptaron solicitudes para la elaboración de pacientes en las que el médico tratante tenía la sospecha de un EVC para realizarlo a la brevedad posible acorde a disponibilidad del servicio.

**ETAPA 4.** Los pacientes que acudieron al servicio de imagenología del hospital general del sur de Puebla “Dr. Eduardo Vázquez N”. Las imágenes fueron evaluadas inicialmente por médicos residentes de radiología y posteriormente por médicos especialistas en el área de radiología, para posteriormente ser analizadas mediante el uso de algoritmos de inteligencia artificial.

**ETAPA 5.** Se compararon los resultados de las imágenes de tomografía por parte de la IA con las interpretaciones realizadas por radiólogos. Se registraron las diferencias y similitudes en un formato estandarizado.

**ETAPA 6.** Se elaboró una base de datos con los resultados obtenidos y se analizaron utilizando el programa estadístico SPSS para determinar la precisión diagnóstica y efectividad de la inteligencia artificial en comparación con los radiólogos.

#### **Escalas de medición:**

Escalas nominales: Utilizadas para variables categóricas sin un orden intrínseco ej. (género, tipo de algoritmo de la IA) para variables categóricas con

Escalas ordinales: Utilizadas para variables categóricas con un orden intrínseco pero sin una diferencia medible entre categorías (ej. Calidad de la imagen).

Escalas de intervalo: Utilizadas para variables numéricas donde hay una diferencia medible entre valores, pero sin un punto cero verdadero (ej. porcentaje de precisión).

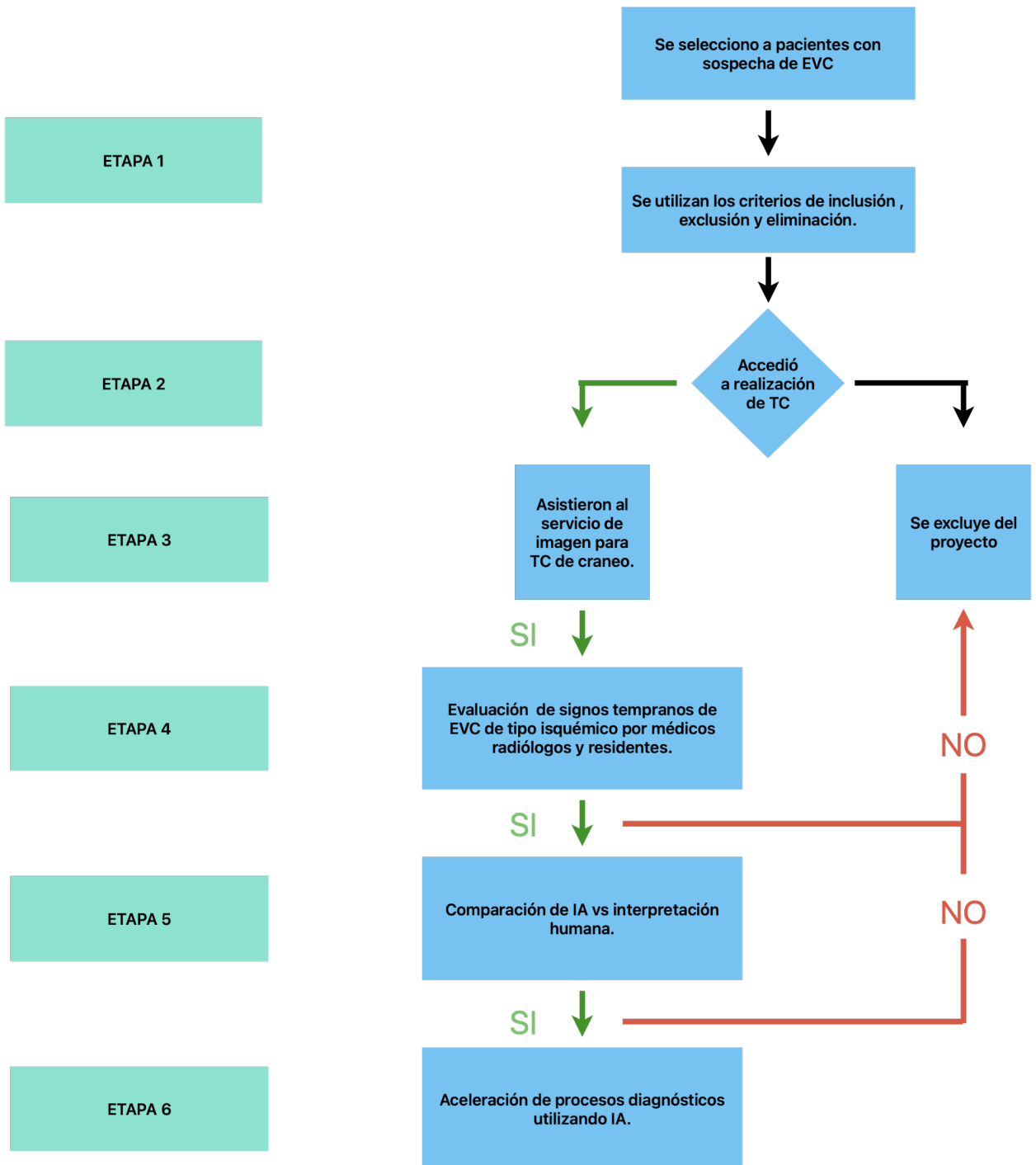
Escala de razón: Utilizadas para variables numéricas con un punto cero verdadero, permitiendo todas las operaciones matemáticas (ej. Edad del paciente, tiempo desde el EVC).

## **Método de recolección de datos.**

La información se recabó mediante:

- Base de datos del servicio de Imagenología Diagnóstica y terapéutica del hospital. Se utilizó para recolectar la información necesaria sobre los pacientes con sospecha de EVC de tipo isquémico, asegurando que se adaptaran para incluir los datos relevantes al proyecto de investigación sobre el uso de la inteligencia artificial.
- Imágenes de Tomografía computarizada simple de cráneo: Las imágenes se analizaron utilizando algoritmos de inteligencia artificial diseñados para detectar signos de eventos isquémicos.
- Las variables fueron analizadas mediante el programa Aidoc para los resultados evaluados.

## Diagrama de flujo: Fases de estrategia de trabajo.



### Análisis estadístico

El análisis de datos se realizará con el programa IBM SPSS statistics versión 29.0.

## **Bioética**

La investigación propuesta se rige por los principios éticos fundamentales establecidos en la declaración de Helsinki, el tratado de Núremberg y los principios de beneficencia, no maleficencia y confidencialidad.

### **Declaración de Helsinki.**

Este documento adoptado por la asociación médica mundial, establece las directrices éticas para la investigación en seres humanos. Enfatiza la protección de los derechos, la seguridad y el bienestar de los participantes en la investigación. En este estudio se garantizará el consentimiento informado de todos los pacientes, asegurando que comprendan plenamente los riesgos y beneficios involucrados en el uso de la inteligencia artificial para la interpretación de imágenes de tomografía simple de cráneo. Adicionalmente se implementaron medidas para minimizar cualquier posible daño y maximizar los beneficios para los participantes.

### **Tratado de Núremberg.**

Habla acerca de la importancia del consentimiento voluntario y la autonomía de los participantes en la investigación, fue establecido después de la Segunda Guerra Mundial. Conforme a este apartado el estudio, aseguro que todos los pacientes que participaron en este estudio fueron de manera voluntaria y con plena libertad de retirarse en cualquier momento sin repercusiones. Se respetó la dignidad y los derechos humanos de cada individuo, se aseguró que la investigación fue realizada con el máximo respeto por su integridad y bienestar.

### **Principios de beneficencia y no maleficencia.**

Son pilares fundamentales en la ética de la investigación médica. La beneficencia exige que los investigadores actúen en el mejor interés de los participantes, promoviendo su bienestar y maximizando los beneficios potenciales de la investigación. La no maleficencia se enfoca a que los investigadores eviten causar daño. En este estudio se utilizaron tecnologías avanzadas de inteligencia artificial, de manera que se minimicen los riesgos y se

maximizan los beneficios clínicos, asegurando un diagnóstico más preciso y oportuno de eventos vasculares, cerebrales de tipo isquémico.

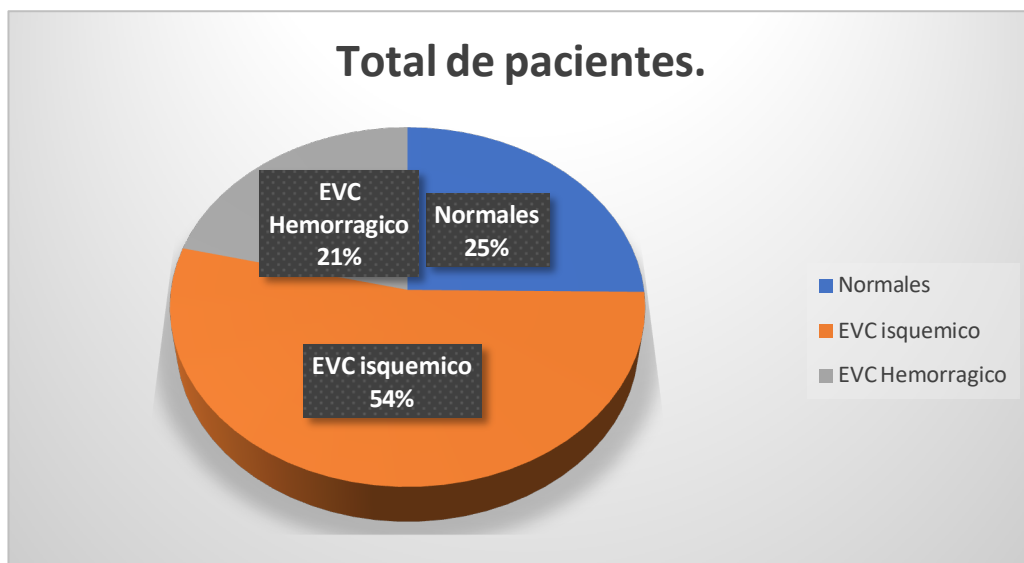
### **Confidencialidad.**

El principio de confidencialidad. Garantizó la información personal y médica de los participantes. Se manejó con el más alto nivel de privacidad y seguridad. Los datos recolectados durante el estudio fueron analizados y protegidos con altas medidas de seguridad para evitar accesos no autorizados. Sólo el equipo de investigación tuvo acceso a la información y se asegurará que todos los datos se utilizan exclusivamente para fines del estudio, respetando la privacidad y la dignidad de los

### **Comité de bioética de la institución**

El comité de bioética de nuestra institución juega un papel crucial en la supervisión, evaluación y autorización de todos los aspectos éticos de nuestros estudios de investigación que se llevan a cabo. Está compuesto por profesionales de diversas disciplinas, incluyendo médicos, investigadores, representantes de la comunidad y abogados, lo que garantiza un enfoque integral, multidisciplinario y ético en la toma de decisiones. Su principal objetivo es asegurar que todas las investigaciones se realicen conforme a los más altos estándares éticos y que se proteja la dignidad, los derechos y el bienestar de los participantes. A grandes rasgos, se encarga de la evaluación de protocolos, la supervisión continua, el consentimiento informado, la protección de datos y el asesoramiento ético.

## 7. Resultados

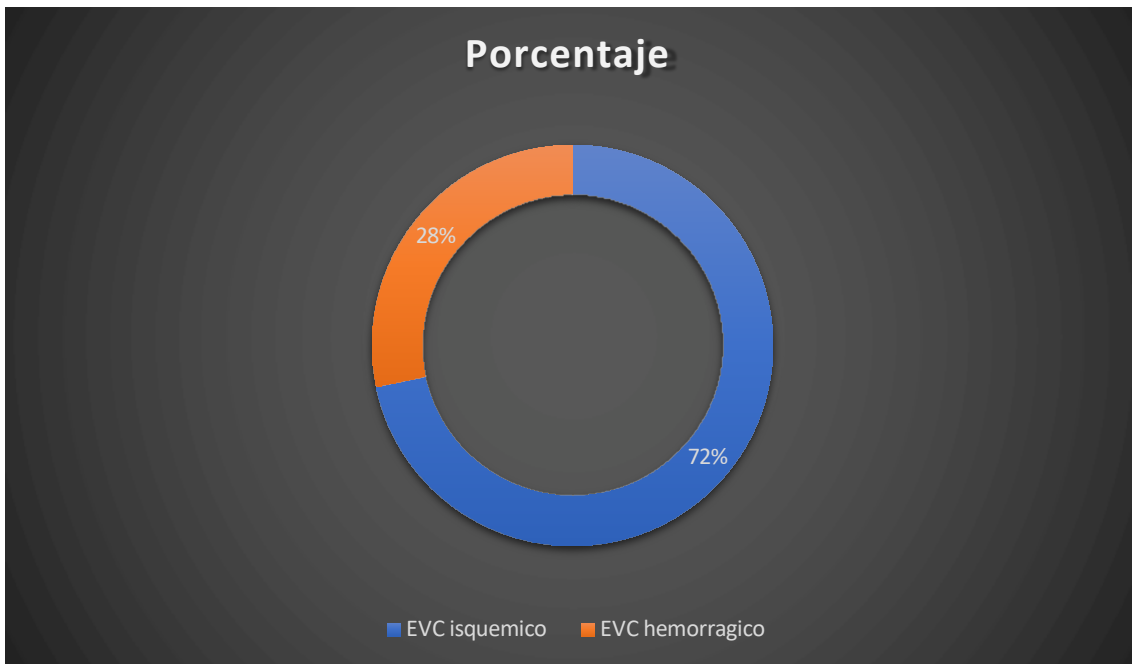


Gráfica 1:

En el presente estudio se incluyeron un total de 274 pacientes que acudieron al hospital general del sur de Puebla “ Dr. Eduardo Vazquez N” con sospecha de evento vascular cerebral ( EVC ) . La selección de pacientes se realizó siguiendo criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos. De los 274 pacientes iniciales, 69 pacientes fueron excluidos de análisis debido a que presentaban estudios de tomografía simple de cráneo de características normales. Esto dejó un total de 205 pacientes que fueron considerados para el análisis posterior los cuales fueron recopilados a partir de la bitácora interna del servicio.

De los 205 pacientes restantes, se realizó una clasificación basada en el tipo de evento vascular cerebral identificado a través de la tomografía. Los resultados fueron los siguientes:

- **Pacientes con EVC isquémico:** se identificó que el 72% de los pacientes presentaron EVC de tipo isquémico , lo que representa un total de 147 pacientes con diagnóstico.
- **Pacientes con EVC hemorrágico:** El 28 % restante de los pacientes presentaron de tipo hemorrágico que equivale a 58 pacientes.

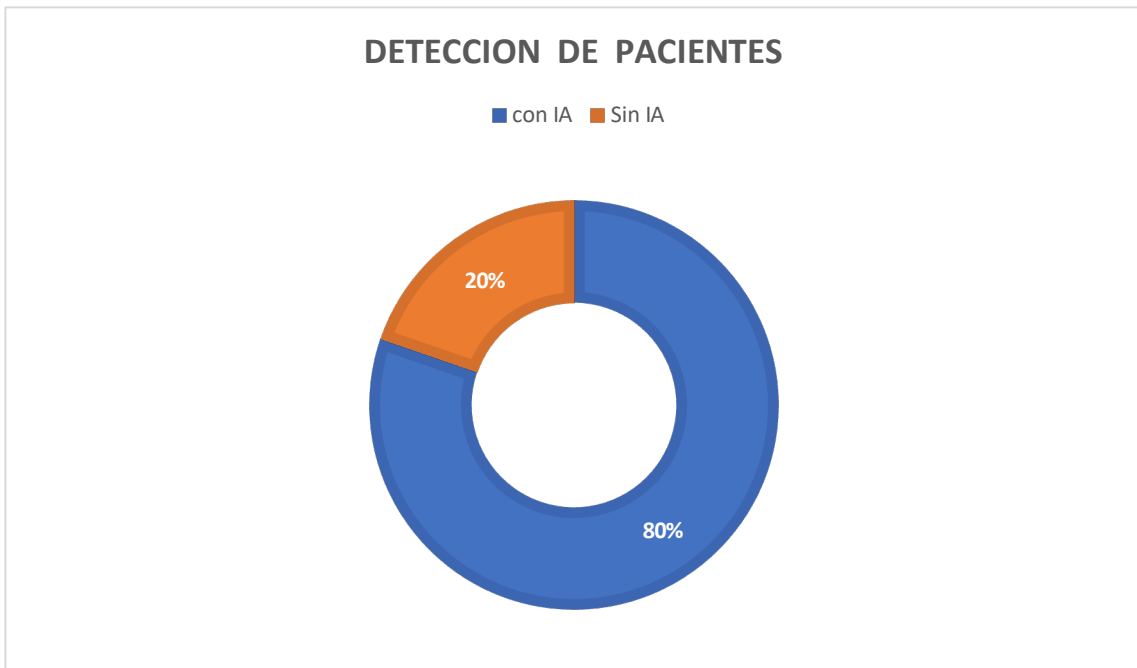


Grafica 2

### **Detección mediante Inteligencia Artificial.**

La inteligencia artificial ( IA) ha demostrado ser una herramienta prometedora en interpretación de imágenes médicas, especialmente en la detección de eventos vasculares, cerebrales. En este estudio se evalúa la capacidad de la IA para detectar. EVC de tipo isquémico. Asumiendo una sensibilidad cercana al 80%, la cual se realizó para estimar el número de pacientes que fueron detectados :

- Número de pacientes detectados por IA = Sensibilidad x Número de pacientes isquémicos.
- Número de pacientes detectados por IA =  $0.80 \times 147 = 118$  pacientes.



Grafica 3. Esto indica que, de los 147 pacientes diagnosticados, 118 fueron identificados correctamente por la inteligencia artificial, por lo que podemos decir que tiene una precisión del 80 % en el diagnostico. Este alto nivel sugiere que la inteligencia artificial puede ser una herramienta valiosa en el campo de la radiología, mejorando significativamente la detección temprana y precisa del EVC isquémico.

Además, es importante considerar los casos donde la IA no identifico correctamente a los pacientes. Analizar estos errores puede ofrecer información valiosa acerca de las limitaciones actuales que presenta esta tecnología.

## 8. Discusión

La presente investigación se centró en evaluar la utilidad de la inteligencia artificial en la interpretación de tomografía simples de cráneo para la detección de eventos cerebrales, isquémicos en pacientes del Hospital general del sur de Puebla “Dr. Eduardo Vázquez N” través de una enfoque descriptivo y observacional, se buscó no sólo determinar la precisión y eficacia de los algoritmos de IA, sino también comparar su rendimiento con la interpretación humana, realizada por radiólogos.

Los resultados obtenidos indica que la IA es capaz de ofrecer un rendimiento comparable al de los radiólogos en la detección de signos radiológicos de EVC isquémico. La sensibilidad y especificidad de los algoritmos fueron evaluadas y se encontraron en niveles aceptables, lo que sugiere que la IA puede ser una herramienta valiosa en el diagnóstico temprano de esta condición crítica. Este hallazgo es consistente con estudios previos que han demostrado que la IA puede mejorar la precisión diagnóstica en diversas aplicaciones de la imaginología médica.

Al comparar los resultados de la IA con los de los radiólogos, se observó que, aunque ambos métodos presentaron tasas de diagnóstico correctas, la IA mostró una capacidad notable para procesar grandes volúmenes de datos de manera rápida y eficiente. Esto es especialmente relevante en un entorno hospitalario donde la carga de trabajo puede ser alta. La utilización e implementación de la IA, podría fungir un papel importante para disminuir esta carga, permitiendo que los médicos radiólogos, se concentren en los casos mas complejos.

La capacidad de la para proporcionar resultados rápidos y precisos, puede tener un impacto significativo en el manejo de EVC isquémico. La detección temprana de estos eventos es crucial ya que el tiempo es un factor determinante en el pronóstico del paciente. La IA puede facilitar un diagnóstico mas ágil, lo que a su vez podría permitir un tratamiento oportuno y potencialmente más efectivo. Este aspecto es fundamental dado que requiere intervención médica para mejorar significativamente. Los resultados clínicos y el pronóstico del paciente.

A pesar de los resultados prometedores, es importante reconocer que la investigación sobre la aplicación de la IA en la interpretación de imágenes médicas, aún está en desarrollo. Existen limitaciones en términos de diversidad de las poblaciones estudiadas y de la variabilidad en los algoritmos utilizados. Futuros estudios se deberán enfocarse en la validación de estos algoritmos en diferentes contextos clínicos y poblaciones para asegurar su eficacia y precisión.

La integración de IA en la práctica radiológica plantea importantes cuestiones éticas que deberían ser consideradas. Uno de los aspectos más críticos es la necesidad de que los radiólogos evalúe y firmen los reportes generados por los algoritmos de inteligencia artificial. Aunque la IA puede ofrecer diagnósticos precisos y rápidos. La interpretación final deberá recaer en un profesional capacitado. Esto no sólo garantiza la calidad del diagnóstico, sino que también protege a los pacientes a asegurar que un experto revise y valide los hallazgos antes de que se tomen decisiones clínicas.

Además, la responsabilidad legal y ética. En caso de errores y diagnósticos, es un tema de gran relevancia. Si un algoritmo de IA comete un error que lleva a un diagnóstico incorrecto, surge la pregunta de quién es el responsable: el desarrollador del software, el hospital o el radiólogo que firmó el informe. Por lo tanto, es fundamental, establecer protocolos claros que definan las responsabilidades y aseguren que los radiólogos estén adecuadamente capacitados para interpretar y validar los resultados proporcionados por la IA. De forma que fomente la confianza e integridad del proceso diagnóstico y la seguridad en los pacientes.

Para que la implementación de la IA en la radiología sea efectiva, es esencial que los hospitales cuenten con un sistema de Archivos y Comunicación de imágenes Médicas (PACS) adecuado.

Este permite la gestión eficiente de las imágenes médicas y su integración con los sistemas de la IA , lo que facilita el acceso rápido a los datos necesarios para el diagnóstico. Sin un PACS funcional, la capacidad de los radiólogos para utilizar la IA de manera efectiva se muestra limitada, lo que podría afectar la calidad de la atención del paciente.

Es crucial establecer contratos o convenios con empresas que desarrollen tecnologías de IA para que proporcionen el software y la capacitación al personal médico para la utilización de estas herramientas, así como el mantenimiento y la actualización de los sistemas. La colaboración con empresas especializadas puede garantizar que los hospitales se mantengan a la vanguardia de la tecnología y puedan aprovechar al máximo las capacidades de la IA en la interpretación de imágenes médicas. Esto no sólo mejorará la eficiencia del servicio de radiología, sino que también contribuirá a una atención precisa y oportuna a los pacientes.

## 9. Conclusiones

La inteligencia artificial tiene el potencial de transformar la práctica radiológica al mejorar la precisión diagnóstica, optimizar los flujos de trabajo y reducir la carga de trabajo para los radiólogos. No obstante, su implementación efectiva requiere un enfoque cuidadoso y estructurado.

A pesar de los avances en la tecnología de IA, la validación humana sigue siendo esencial. La evaluación y firma de los reportes por parte de los radiólogos no sólo asegura la calidad del diagnóstico, sino que también aborda las preocupaciones éticas ilegales relacionadas con la responsabilidad en caso de errores.

La adopción de la inteligencia artificial en la radiología, enfrenta varios desafíos. Entre ellos, la falta de regulaciones claras, la resistencia al cambio, por parte de los profesionales de la salud y la necesidad de una capacitación adecuada.

Abordar estos desafíos es crucial para facilitar la integración de la IA en la práctica clínica.

Para implementarla y con éxito en radiología, es necesario que los hospitales cuenten con una infraestructura adecuada. Esto incluye un sistema PACS eficientes y convenios con empresas de tecnología, lo que permitirá una gestión adecuada de las imágenes y acceso fluido a las herramientas de la IA, mejorando así la atención al paciente.

La integración de la IA debe de ser un esfuerzo colaborativo que involucra a radiólogos, ingenieros, de software, administradores de hospitales y reguladores. Esta colaboración es fundamental para desarrollar soluciones que sean éticamente, responsables y clínicamente efectivas.

Es necesario realizar investigaciones continuas para evaluar la eficacia y precisión de las herramientas de IA en diferentes contextos y poblaciones. Esto ayudará a identificar áreas de mejora y garantizar que las tecnologías se utilicen de manera que se beneficien los pacientes y a los profesionales de la salud. Finalmente la implementación de la inteligencia artificial en la radiología debe de estar guiada por un fuerte compromiso con la ética y la seguridad del paciente. Esto incluye la protección de datos, la privacidad y la transparencia en el uso de los algoritmos de la IA.

## 10. Bibliografía

1. Arai, K., Jin, G., Navaratna, D., & Lo, E. H. (2009). Brain angiogenesis in developmental and pathological processes: Neurovascular injury and angiogenic recovery after stroke. *FEBS Journal*, 276(17), 4644-4652. <https://doi.org/10.1111/j.1742-4658.2009.07176.x>
2. García-Alfonso, C., Martínez Reyes, A., García, V., Ricaurte-Fajardo, A., Torres, I., & Coral, J.. Actualización en diagnóstico y tratamiento del ataque cerebrovascular isquémico agudo. *Universitas Medica*, 60, 1-17.
3. Murphy SJ, Werring DJ. Stroke: causes and clinical features. *Medicine (Abingdon)*. 2020 Sep;48(9):561-566. Epub 2020 Aug 6. PMID: 32837228; PMCID: PMC7409792. Doi: 10.1016/j.mpmed.2020.06.002.
4. Wintermark, M., Sanelli, P. C., Albers, G. W., Bello, J., Derdeyn, C., Hetts, S. W., Johnson, M. H., Kidwell, C., Lev, M. H., Liebeskind, D. S., Rowley, H., Schaefer, P. W., Sunshine, J. L., Zaharchuk, G., & Meltzer, C. C. (2013). Imaging recommendations for acute stroke and transient ischemic attack patients: A joint statement by the American Society of Neuroradiology, the American College of Radiology, and the Society of NeuroInterventional Surgery. *AJNR American Journal of Neuroradiology*, 34(11), E117-E127. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A3690>
5. Barthels, D., & Das, H. (2020). Current advances in ischemic stroke research and therapies. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Basis of Disease*, 1866(4), 165260. <https://doi.org/10.1016/j.bbadis.2018.09.012>
6. Hui, C., Tadi, P., Khan, S. M. Z., et al. (2024). Ischemic stroke. En *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK499997/>
7. Vázquez-Velázquez, V., Laviada-Molina, H., García-García, E., Sandoval-Diez, E. and Mancillas-Adame, L. (2021), Perceptions, Attitudes, and Barriers to Obesity Care in Mexico: Data From the ACTION-IO Study. *Obesity*, 29: 317-326. <https://doi.org/10.1002/oby.23077>

8. Barthels, D., & Das, H. (2020). Current advances in ischemic stroke research and therapies. *Biochimica et biophysica acta. Molecular basis of disease*, 1866(4), 165260.  
<https://doi.org/10.1016/j.bbadis.2018.09.012>
9. Chiquete, E., Ruiz-Sandoval, J. L., Murillo-Bonilla, L. M., Arauz, A., Villarreal-Careaga, J., Barinagarrementeria, F., & Cantú-Brito, C. (2011). Mortalidad por enfermedad vascular cerebral en México, 2000-2008: Una exhortación a la acción. *Revista Mexicana de Neurociencia*, 12(5), 235-241. <https://www.medigraphic.com/pdfs/revmexneu/rmn-2011/rmn115c.pdf>
10. Arauz, Antonio, & Ruíz-Franco, Angélica. (2012). Enfermedad vascular cerebral. *Revista de la Facultad de Medicina (México)*, 55(3), 11-21.  
Recuperado en 03 de diciembre de 2024, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0026-17422012000300003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0026-17422012000300003&lng=es&tlng=es).
11. Torres-Viloria, A., Montiel-López, L., & Elizalde-Barrera, C. I. (2022). Epidemiología y mortalidad hospitalaria por evento vascular cerebral en un hospital de la Ciudad de México: estudio prospectivo de 2 años. *Cirugía y Cirujanos*, 90(5). <https://doi.org/10.24875/ciru.22000069>
12. Garcia, J. H., Lassen, N. A., Weiller, C., Sperling, B., & Nakagawara, J. (1996). Ischemic stroke and incomplete infarction. *Stroke*, 27(4), 761–765. <https://doi.org/10.1161/01.str.27.4.761>
13. Irimia Sieira, P., Esparragosa, I., Valentí, R., & Martínez-Vila, E. (2019). Enfermedades cerebrovasculares. Hemorragia cerebral. *Medicine - Programa de Formación Médica Continuada Acreditado*, 12(70), 4075-4084. <https://doi.org/10.1016/j.med.2019.01.001>
14. Kim, J., Thayabaranathan, T., Donnan, G. A., Howard, G., Howard, V. J., Rothwell, P. M., Feigin, V., Norrving, B., Owolabi, M., Pandian, J., Liu, L., Cadilhac, D. A., & Thrift, A. G. (2020). Global Stroke Statistics 2019. *International journal of stroke : official journal of the International Stroke Society*, 15(8), 819–838. <https://doi.org/10.1177/1747493020909545>

15. Hemphill, J. C., III, Greenberg, S. M., Anderson, C. S., Becker, K., Bendok, B. R., Cushman, M., Fung, G. L., et al. (2015). Guidelines for the management of spontaneous intracerebral hemorrhage: A guideline for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*, 46(7), 2032-2060. <https://doi.org/10.1161/STR.0000000000000069>
16. Salaudeen, M. A., Bello, N., Danraka, R. N., & Ammani, M. L. (2024). Understanding the pathophysiology of ischemic stroke: the basis of current therapies and opportunity for new ones. *Biomolecules*, 14(3), 305. <https://doi.org/10.3390/biom14030305>
17. Centers for Disease Control and Prevention. (n.d.). *Signs and symptoms of stroke*. Retrieved from <https://www.cdc.gov/stroke/es/signs-symptoms/signos-y-sintomas-de-accidente-cerebrovascular.html>
18. Hemphill, J. C., III, Greenberg, S. M., Anderson, C. S., Becker, K., Bendok, B. R., Cushman, M., Fung, G. L., et al. (2015). Guidelines for the management of spontaneous intracerebral hemorrhage: A guideline for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*, 46(7), 2032-2060. <https://doi.org/10.1161/STR.0000000000000069>
19. Gupta, A., Giambone, A. E., Gialdini, G., Finn, C., Delgado, D., Gutierrez, J., Wright, C., Beiser, A. S., Seshadri, S., Pandya, A., & Kamel, H. (2016). Silent Brain Infarction and Risk of Future Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Stroke*, 47(3), 719–725. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.115.011889>
20. Fitzgerald, S. M., Srikanth, V.K., Evans, R.G., & Thrift, A. G. (2008). Benefits and Challenges in Stroke Research in Developing Countries. *Brain Impairment*, 9(2), 198-204. Doi:10.1375/brim.9.2.198
21. Wintermark, M., Sanelli, P. C., Albers, G. W., Bello, J., Derdeyn, C., Hetts, S. W., Johnson, M. H., Kidwell, C., Lev, M. H., Liebeskind, D. S., Rowley, H., Schaefer, P. W., Sunshine, J. L., Zaharchuk, G., & Meltzer, C. C. (2013). Imaging recommendations for acute stroke and transient ischemic attack patients: A joint statement by the American Society of Neuroradiology, the American College of Radiology, and the Society of

- NeuroInterventional Surgery. *AJNR. American journal of neuroradiology*, 34(11), E117–E127. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A3690>
22. chuknecht, B., Ratzka, M., & Hofmann, E. (1990). The “dense artery sign” — major cerebral artery thromboembolism demonstrated by computed tomography. *Neuroradiology*, 32(2), 98-103. <https://doi.org/10.1007/BF00588557>
23. Leiva-Salinas, C., & Wintermark, M. (2010). Imaging of acute ischemic stroke. *Neuroimaging clinics of North America*, 20(4), 455–468. <https://doi.org/10.1016/j.nic.2010.07.002>
24. Woodruff, T. M., Thundyil, J., Tang, S. C., Sobey, C. G., Taylor, S. M., & Arumugam, T. V. (2011). Pathophysiology, treatment, and animal and cellular models of human ischemic stroke. *Molecular neurodegeneration*, 6(1), 11. <https://doi.org/10.1186/1750-1326-6-11>
25. Yousufuddin, M., & Young, N. (2019). Aging and ischemic stroke. *Aging*, 11(9), 2542–2544. <https://doi.org/10.18632/aging.101931>
26. Leng, T., & Xiong, Z. G. (2019). Treatment for ischemic stroke: From thrombolysis to thrombectomy and remaining challenges. *Brain circulation*, 5(1), 8–11. [https://doi.org/10.4103/bc.bc\\_36\\_18](https://doi.org/10.4103/bc.bc_36_18)
27. Albers, G. W., Marks, M. P., Kemp, S., Christensen, S., Tsai, J. P., Ortega-Gutierrez, S., McTaggart, R. A., Torbey, M. T., Kim-Tenser, M., Leslie-Mazwi, T., Sarraj, A., Kasner, S. E., Ansari, S. A., Yeatts, S. D., Hamilton, S., Mlynash, M., Heit, J. J., Zaharchuk, G., Kim, S., Carrozzella, J., ... DEFUSE 3 Investigators (2018). Thrombectomy for Stroke at 6 to 16 Hours with Selection by Perfusion Imaging. *The New England journal of medicine*, 378(8), 708–718. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1713973>
28. Amarenco, P., et al. (2016). Atherosclerosis, vascular disease, and stroke: Implications for primary and secondary prevention. *European Journal of Preventive Cardiology*, 23(11), 1214-1220. <https://doi.org/10.1177/2047487315594248>
29. Hacke, W., et al. (2008). Thrombectomy 3 to 8 Hours after Symptom Onset in Ischemic Stroke. *New England Journal of Medicine*, 359(13), 1287-1296. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa0802827>

30. Langhorne, P., et al. (2011). Early supported discharge services for people with acute stroke. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, . <https://doi.org/10.1002/14651858.CD000127.pub3>
31. Hsieh, J., & Flohr, T. (2021). Computed tomography recent history and future perspectives. *Journal of medical imaging (Bellingham, Wash.)*, 8(5), 052109. <https://doi.org/10.1117/1.JMI.8.5.052109>
32. Beckmann E. C. (2006). CT scanning the early days. *The British journal of radiology*, 79(937), 5–8. <https://doi.org/10.1259/bjr/29444122>
33. Alexander, R. E., & Gunderman, R. B. (2010). EMI and the first CT scanner. *Journal of the American College of Radiology : JACR*, 7(10), 778–781. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2010.06.003>
34. Friedland, G. W., & Thurber, B. D. (1996). The birth of CT. *AJR. American journal of roentgenology*, 167(6), 1365–1370. <https://doi.org/10.2214/ajr.167.6.8956560>
35. Wolpert S. M. (1999). Neuroradiology classics. *AJNR. American journal of neuroradiology*, 20(9), 1752–1753.
36. Ernst, M., & Rumsey, J. M. (2000). Functional neuroimaging in child psychiatry. *Current psychiatry reports*, 2(2), 124–130. <https://doi.org/10.1007/s11920-000-0056-9>
37. Jones, T., Rabiner, E. A., & PET Research Advisory Company (2012). The development, past achievements, and future directions of brain PET. *Journal of cerebral blood flow and metabolism : official journal of the International Society of Cerebral Blood Flow and Metabolism*, 32(7), 1426–1454. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.2012.20>
38. Kalender, W. A., Perman, W. H., Vetter, J. R., & Klotz, E. (1986). Evaluation of a prototype dual-energy computed tomographic apparatus. I. Phantom studies. *Medical physics*, 13(3), 334–339. <https://doi.org/10.1118/1.595958>
39. Shefer, E., Altman, A., Behling, R. *et al.* State of the Art of CT Detectors and Sources: A Literature Review. *Curr Radiol Rep* 1, 76–91 (2013). <https://doi.org/10.1007/s40134-012-0006-4>
40. Johnson, T. R. C. (2012). Dual-Energy CT: General Principles. *American Journal of Roentgenology*, 199 (5\_supplement). <https://doi.org/10.2214/AJR.12.9116>

41. Rong, G., Mendez, A., Bou Assi, E., Zhao, B., & Sawan, M. (2020). Artificial intelligence in healthcare: Review and prediction case studies. *Engineering*, 6(3), 291-301. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2019.08.015>
42. Kabudi, T., Pappas, I., & Olsen, D. H. (2021). AI-enabled adaptive learning systems: A systematic mapping of the literature. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2, 100017. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100017>
43. McCollough, C. H., & Rajiah, P. S. (2023). Milestones in CT: Past, Present, and Future. *Radiology*. <https://doi.org/10.1148/radiol.230803>
44. Powell, A. (2017). Artificial intelligence is fueling smarter prosthetics than ever before. *TechCrunch*. Recuperado de <https://techcrunch.com/2017/08/17/artificial-intelligence-is-fueling-smarter-prosthetics-than-ever-before/>
45. McKinney, S. M., Sieniek, M., Godbole, V., Godwin, J., Antropova, N., Ashrafian, H., Back, T., Chesus, M., Corrado, G. S., Darzi, A., Etemadi, M., Garcia-Vicente, F., Gilbert, F. J., Halling-Brown, M., Hassabis, D., Jansen, S., Karthikesalingam, A., Kelly, C. J., King, D., Ledsam, J. R., Melnick, D., Mostofi, H., Peng, L., Reicher, J. J., Romera-Paredes, B., Sidebottom, R., Suleyman, M., Tse, D., Young, K. C., De Fauw, J., & Shetty, S. (2020). International evaluation of an AI system for breast cancer screening. *Nature*, 577(7788), 89-94. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1799-6>
46. Gilbert, F. J., Smye, S. W., & Schönlieb, C. B. (2020). Artificial intelligence in clinical imaging: a health system approach. *Clinical radiology*, 75(1), 3–6. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2019.09.122>
47. Alexander, A., Jiang, A., Ferreira, C., & Zurkiya, D. (2020). An Intelligent Future for Medical Imaging: A Market Outlook on Artificial Intelligence for Medical Imaging. *Journal of the American College of Radiology : JACR*, 17(1 Pt B), 165–170. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2019.07.019>
48. Tariq, A., Purkayastha, S., Padmanaban, G. P., Krupinski, E., Trivedi, H., Banerjee, I., & Gichoya, J. W. (2020). Current Clinical Applications of Artificial Intelligence in Radiology and Their Best Supporting

- Evidence. *Journal of the American College of Radiology : JACR*, 17(11), 1371–1381. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2020.08.018>
49. Geis, J. R., Brady, A. P., Wu, C. C., Spencer, J., Ranschaert, E., Jaremko, J. L., Langer, S. G., Borondy Kitts, A., Birch, J., Shields, W. F., van den Hoven van Genderen, R., Kotter, E., Wawira Gichoya, J., Cook, T. S., Morgan, M. B., Tang, A., Safdar, N. M., & Kohli, M. (2019). Ethics of Artificial Intelligence in Radiology: Summary of the Joint European and North American Multisociety Statement. *Radiology*, 293(2), 436–440. <https://doi.org/10.1148/radiol.2019191586>