**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, SISTEMAS Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

**TESIS**

**“SISTEMA INTELIGENTE BASADO EN DEEP LEARNING PARA EL DIAGNÓSTICO DE CÁNCER DE PRÓSTATA”.**

Para obtener el título profesional de:

**INGENIERO DE SISTEMAS**

**AUTORES:**

SANTAMARIA SANTISTEBAN, Jahir S.

SIESQUEN VALDIVIA, Luis Felipe

**ASESOR:**

DR. ING. VILLEGAS CUBAS, Juan Elías

**LAMBAYEQUE-PERÚ**

**2024**

**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, SISTEMAS Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

**TESIS**

**“SISTEMA INTELIGENTE BASADO EN DEEP LEARNING PARA EL DIAGNÓSTICO DE CÁNCER DE PRÓSTATA”.**

Para obtener el título profesional de:

**INGENIERO DE SISTEMAS**

**Aprobado por los miembros de Jurado:**

**DR. ING. CELI ARÉVALO, Ernesto Karlo PRESIDENTE DEL JURADO**

**DR. ING.OTAKE OYAMA, Luis Alberto MG. ING. ARTEAGA LORA, Roberto C. SECRETARIO VOCAL**

**LAMBAYEQUE-PERÚ 2024**

**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, SISTEMAS Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

**TESIS**

**“SISTEMA INTELIGENTE BASADO EN DEEP LEARNING PARA EL DIAGNÓSTICO DE CÁNCER DE PRÓSTATA”.**

Para obtener el título profesional de:

**INGENIERO DE SISTEMAS**

****

**SANTAMARIA SANTISTEBAN, Jahir S. SIESQUEN VALIDIVIA, Luis Felipe AUTOR AUTOR**



**DR. ING. VILLEGAS CUBAS, Juan Elías**

**ASESOR**

**LAMBAYEQUE-PERÚ**

**2024**

**AGRADECIMIENTO**

**-**A mis padres y hermanos por el apoyo incondicional, la fortaleza que me brindan y las ganas de superarme cada día.

*Jahir Santos Santamaria Santisteban*

**AGRADECIMIENTO**

Agradezco al ingeniero Juan Villegas, por su inestimable guía, su dedicación y compromiso han sido fundamentales para la realización de este trabajo.

*Luis Felipe Siesquen Valdivia*

**DEDICATORIA**

A mi padre José de los Santos por ser mi guía y acompañarme desde donde se encuentre. A nuestro asesor de tesis por apoyarnos en cada paso de esta investigación.

*Jahir Santos Santamaria Santisteban*

**DEDICATORIA**

A mis padres, por creer siempre en mí, incluso en los momentos más difíciles. Gracias por ser mi fuente de inspiración y mi fortaleza.

*Luis Felipe Siesquen Valdivia*

**TABLA DE CONTENIDO**

[I. RESUMEN 10](#_Toc181049815)

[II. INTRODUCCIÓN 12](#_Toc181049816)

[III. DISEÑO TEÓRICO 15](#_Toc181049817)

[3.1. Antecedentes 15](#_Toc181049818)

[3.2. Bases Teórica 19](#_Toc181049819)

[*3.2.1.* *Cáncer de Próstata* 19](#_Toc181049820)

[3.2.2. Factores de riesgo del cáncer de próstata 20](#_Toc181049821)

[*3.2.3.* *Etapas del cáncer de próstata* 21](#_Toc181049822)

[*3.2.4.* *Tratamiento del cáncer de próstata* 24](#_Toc181049823)

[*3.2.5.* *Diagnóstico del cáncer de próstata* 25](#_Toc181049824)

[*3.2.6.* *Agentes Inteligentes.* 26](#_Toc181049825)

[*3.2.7.* *Sistema inteligente.* 26](#_Toc181049826)

[*3.2.8.* *Deep Learning.* 26](#_Toc181049827)

[*3.2.9.* *Modelos de Deep Learning* 27](#_Toc181049828)

[*3.2.10.* *Modelo VGG-16* 28](#_Toc181049829)

[3.2.11. Modelo VGG-19 29](#_Toc181049830)

[3.2.12. Modelo ResNet50 31](#_Toc181049831)

[IV. DISEÑO METODOLÓGICO 32](#_Toc181049832)

[4.1. Tipificación de la investigación 32](#_Toc181049833)

[4.2. Tabla de operacionalización de variable 33](#_Toc181049834)

[4.3. Población y muestra 35](#_Toc181049835)

[4.4. Técnicas, instrumentos, equipos y materiales 35](#_Toc181049836)

[V. RESULTADOS 38](#_Toc181049837)

[5.1. Análisis del conjunto de Imágenes 38](#_Toc181049838)

[*5.1.1.* *Descripción del conjunto de datos SICAPv2* 38](#_Toc181049839)

[5.2. Procesamiento de Datos 40](#_Toc181049840)

[5.3. Seleccionar un modelo óptimo de Deep Learning 43](#_Toc181049841)

[5.3.1. Resultados de los modelos aplicados 43](#_Toc181049842)

[5.3.2. Elección del modelo 47](#_Toc181049843)

[5.4. Desarrollar el sistema inteligente 48](#_Toc181049844)

[*5.4.1.* *Requisitos y preparación* 48](#_Toc181049845)

[*5.4.2.* *Preparación del entorno de trabajo* 48](#_Toc181049846)

[*5.4.3.* *Desarrollo del sistema* 50](#_Toc181049847)

[5.5. Evaluación del rendimiento del sistema inteligente 57](#_Toc181049848)

[VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 63](#_Toc181049849)

[VII. CONCLUSIONES 66](#_Toc181049850)

[VIII. RECOMENDACIONES 68](#_Toc181049851)

[IX. BIBLIOGRAFÍA 70](#_Toc181049852)

**ÍNDICE DE TABLAS**

[Tabla 1: Tabla operacional según Indicadores 32](#_Toc173272701)

[Tabla 2: Distribución de imágenes en dataset 36](#_Toc173272702)

[Tabla 3: Resultados algoritmos aplicados 46](#_Toc173272703)

[Tabla 4: Descripción de funciones 51](#_Toc173272704)

**ÍNDICE DE FIGURAS**

[Figura 1: Arquitectura de VGG-16 separada por 16 capas convolucionales 28](#_Toc181027807)

[Figura 2: Modelo lógico de Arquitectura VGG-16 con 13 capas convolucionales y 3 densas 29](#_Toc181027808)

[Figura 3: Modelo de red VGG-19 29](#_Toc181027809)

[Figura 4: Marco de entrenamiento del modelo de detección de uso de máscara 30](#_Toc181027810)

[Figura 5: Arquitectura de ResNet50 31](#_Toc181027811)

[Figura 6: Propiedad de imagen de dataset SICAPv2 37](#_Toc181027812)

[Figura 7: Imágenes con patrones cribiformes, no contiene signos de cáncer de próstata 38](#_Toc181027813)

[Figura 8: Imágenes con patrones cribiformes contiene signos de cáncer de próstata 38](#_Toc181027814)

[Figura 9: Procesamiento de una imagen con cáncer 40](#_Toc181027815)

[Figura 10: Procesamiento de una imagen sin cáncer 40](#_Toc181027816)

[Figura 11: Resultado modelo VGG-16 41](#_Toc181027817)

[Figura 12: Resultado modelo VGG-19 42](#_Toc181027818)

[Figura 13: Resultado modelo ResNet50 44](#_Toc181027819)

[Figura 14: Directorios de trabajo 47](#_Toc181027820)

[Figura 15: Estructura Principal 47](#_Toc181027821)

[Figura 16: Estructura de carpetas del backend 49](#_Toc181027822)

[Figura 17: Cuenta enlazada al proyecto 50](#_Toc181027823)

[Figura 18: Resultados enlace de cuenta 50](#_Toc181027824)

[Figura 19: Repositorio de GitHub 51](#_Toc181027825)

[Figura 20: Menú Login del sistema 52](#_Toc181027826)

[Figura 21: Análisis de resultados 53](#_Toc181027827)

[Figura 22: Resultados de la evaluación 53](#_Toc181027828)

[Figura 23: Exportable en formato PDF 54](#_Toc181027829)

[Figura 24: Resumen de análisis ejecutados en el sistema 55](#_Toc181027830)

[Figura 25: Conversión de las probabilidades predichas 56](#_Toc181027831)

[Figura 26: Decisión final de categoría 56](#_Toc181027832)

[Figura 27: Etiquetas por lote 57](#_Toc181027833)

[Figura 28: Almacenamiento de etiquetas reales y predictivas 58](#_Toc181027834)

[Figura 29: Evaluación del desempeño del modelo 59](#_Toc181027835)

# RESUMEN

La presente investigación aborda el problema del diagnóstico de cáncer de próstata, una de las principales causas de mortalidad en hombres a nivel mundial. El diagnóstico temprano de esta enfermedad es un desafío debido a la complejidad en la detección de signos tempranos y la falta de acceso a tecnologías avanzadas en muchas regiones. En respuesta a esta problemática, se desarrolló un sistema basado en Deep Learning que permite la identificación precisa de cáncer de próstata a través de imágenes histológicas.

Este proyecto se fundamenta en técnicas de Deep Learning, específicamente en el uso de redes neuronales convolucionales, que han mostrado un rendimiento superior en la clasificación de imágenes médicas. Los modelos utilizados incluyen arquitecturas avanzadas como VGG16, VGG19 y ResNet50, siendo el modelo VGG19 el seleccionado debido a su alta precisión en la detección de imágenes con cáncer y sin cáncer.

La metodología aplicada corresponde a una investigación aplicada con un enfoque cuantitativo. La población estuvo compuesta por un conjunto de imágenes de histología de próstata, y la muestra final utilizada para el entrenamiento del sistema fue de 13,827 imágenes, divididas en dos categorías: con cáncer y sin cáncer. Para la recolección de información se emplearon técnicas de análisis documental y observación.

Como resultado, el sistema inteligente logró una precisión del 94.11% utilizando el modelo VGG19, lo cual representa un avance significativo en la capacidad de detección de cáncer de próstata a través de herramientas automatizadas. Este sistema tiene el potencial de convertirse en un soporte fundamental para los profesionales de la salud, optimizando los procesos de diagnóstico y contribuyendo a una atención más efectiva y oportuna.

**Palabras clave**: Aprendizaje Profundo, cáncer de próstata, redes neuronales convolucionales, diagnóstico médico, sistema inteligente.

# INTRODUCCIÓN

El cáncer representa una de las mayores preocupaciones de salud a nivel mundial, siendo responsable de millones de muertes cada año. Entre los tipos de cáncer más prevalentes se encuentra el cáncer de próstata, que afecta principalmente a la población masculina y puede tener un impacto significativo en la calidad de vida y la supervivencia de los pacientes. En el contexto peruano, el cáncer es la principal causa de mortalidad por grupo de enfermedad para el género masculino, lo que genera un alto impacto económico y social debido a su diagnóstico tardío y las limitaciones en el acceso a cuidados que se requieran.

Sin embargo, la detección temprana sigue siendo un desafío importante en el manejo de esta enfermedad, debido principalmente a la falta de acceso a pruebas diagnósticas oportunas, especialmente en regiones con recursos limitados, ya que los síntomas iniciales pueden ser inespecíficos o asintomáticos, lo cual lleva a muchos pacientes a consultar en etapas avanzadas. Estos factores resaltan la necesidad de implementar tecnologías que puedan mejorar la capacidad de detección precoz. En este contexto, la presente investigación busca desarrollar un sistema de inteligencia artificial basado en redes neuronales convolucionales, con el objetivo de anticipar de manera eficiente el diagnóstico de cáncer de próstata.

Los objetivos de esta investigación son los siguientes:

**Objetivo general:**

Desarrollar un sistema inteligente basado en Deep Learning para predecir el diagnóstico de cáncer de próstata.

**Objetivos específicos:**

Analizar y preprocesar imágenes de cáncer de próstata para crear un conjunto de datos representativo para el modelo.

Desarrollar y optimizar un modelo de Deep Learning adecuado para la clasificación de imágenes médicas que permita diferenciar entre muestras con cáncer y sin cáncer.

Implementar un sistema de predicción que integra el modelo entrenado en una interfaz de usuario accesible para profesionales de la salud.

Evaluar el rendimiento del sistema mediante métricas de precisión, sensibilidad y especificidad para validar su eficacia en la detección de cáncer de próstata.

El informe se organiza en los siguientes capítulos:

* Capítulo I introduce el problema central de la investigación, así como los objetivos y la relevancia del estudio.
* El Capítulo II presenta el diseño teórico, abordando antecedentes y bases teóricas fundamentales relacionadas con el cáncer de próstata y las técnicas de Deep Learning empleadas en diagnóstico médico.
* El Capítulo III describe la metodología empleada en el desarrollo del sistema inteligente, detallando los procedimientos de recolección y procesamiento de datos.
* El Capítulo IV expone los resultados obtenidos, incluyendo el análisis de desempeño de los modelos de Deep Learning aplicados y su precisión diagnóstica.
* El Capítulo V analiza y discute los resultados en el contexto de estudios previos y la literatura revisada.
* El Capítulo VI ofrece las conclusiones de la investigación y proporciona recomendaciones para futuras investigaciones y posibles mejoras en la implementación clínica del sistema.

En resumen, esta investigación busca contribuir a mejorar la detección temprana del cáncer de próstata mediante la implementación de tecnologías de inteligencia artificial, lo que podría tener un impacto significativo en la atención y supervivencia de los pacientes afectados por esta enfermedad.

# DISEÑO TEÓRICO

## Antecedentes

Guajin y Kup-Sze (2018) desarrollaron un sistema para diagnosticar cáncer de próstata en una población china. Para ello, obtuvieron una base de datos de biopsias de próstata guiadas por ecografía transrectal (TRUS) en un hospital de Hong Kong, que incluía 1,625 registros de pacientes chinos. Se emplearon cuatro métodos de aprendizaje automático: Support Vector Machine (SVM), Least Squares Support Vector Machine (LS-SVM), Red Neuronal Artificial (ANN) y Random Forest (RF). ANN se destacó al alcanzar la mayor precisión con un 95.27%.

Faez (2018) utilizó datos recopilados del hospital Imam Reza (Teherán). Este conjunto de datos es simplemente acerca de quiénes dieron positivo los resultados de sus pruebas y si sufrían de cáncer de próstata. Aplicaron el uso de Deep Learning y tres ANN para mejorar el diagnóstico respectivo, Deep Learning logró una precisión de clasificación del 86,3 % siendo está la más cercana al resultado deseado.

Lal et al. (2019) desarrollaron una aplicación que relaciona características morfológicas del cáncer de próstata con imágenes de resonancia magnética (MRI). Utilizaron redes bayesianas, donde nodos y arcos muestran una relación de causa y efecto a través de gráficos acíclicos dirigidos (DAG). Gracias a la asociación entre área y equidiámetro, la aplicación obtuvo una probabilidad de clasificación del 98.94%.

Forero Cuellar (2019) utilizó un algoritmo de aprendizaje en datos "Prueba y puntuación" del programa informático "Orange Data Mining Fruit and Fun" para realizar minería de datos y análisis predictivo. El proceso de diagnóstico es llevado a cabo por un médico experto que evalúa las variables apoyándose en imágenes de resonancia magnética y otras técnicas tradicionales, lo que a menudo resulta en diagnósticos difíciles y demorados. La novedad de este enfoque radica en la capacidad de obtener un diagnóstico más rápido y preciso como complemento al diagnóstico clínico. Se encontró que la regresión logística y la red neuronal tienen un rendimiento superior al de los bosques aleatorios y los árboles de decisión para la clasificación de las categorías de evaluación PI-RADS, con una precisión del 83.1% para la regresión logística y del 79.5% para los árboles de decisión.

Yasser et al. (2019) buscaron predecir fármacos que interactúen con los receptores de adenosina, los cuales inhiben el crecimiento de células tumorales, incluido el carcinoma de próstata. Utilizaron algoritmos Random Forest (RF) y árboles de decisión (DT) con un conjunto de datos de medicamentos compilado por Saad et al. La combinación de datos permitió generar huellas dactilares moleculares (bits binarios), y RF obtuvo la mayor precisión en la clasificación de fármacos con un 75.09% en la interacción con el receptor de adenosina A2 a 75,09%.

Mohamed et al. (2020) aplicaron la técnica de regresión logística modificada (MLR) para identificar cáncer de próstata a partir de un conjunto de datos de Zhou W. Para la validación, se emplearon imágenes de resonancia magnética multiparamétrica (mpMRI), logrando un nivel de sensibilidad (Se) del 96% y especificidad (Sp) del 98%, mejorando la precisión del clasificador en un 3% comparado con métodos previos.

Carneiro Neto (2020) utilizó una arquitectura de red neuronal profunda, XmasNet, para realizar dos grandes experimentos sobre la clasificación de lesiones las imágenes se obtuvieron de un conjunto de datos IMPROD (Improved Prostate Cancer Diagnosis - Combination of Magnetic Resonance Imaging and Biomarkers) se originó a partir de un ensayo clínico llevado a cabo por el Hospital Universitario de Turku y la Universidad de Turku. El ensayo incluyó a 175 pacientes entre 40 y 85 años con sospechas de cáncer de próstata respaldadas por resultados de detección. se obtuvo por resultado que la clasificación binaria del significado clínico de las lesiones y la detección y segmentación de la próstata ya consiguen los resultados deseados 0,870 AUC y 0,915 dice score respectivamente.

Bese y Miró (2022) desarrollaron un sistema de aprendizaje profundo para la gradación del cáncer de próstata. Utilizaron anotaciones de personas no expertas en combinación con redes neuronales convolucionales (CNN) para clasificar imágenes médicas, logrando mejorar la precisión en la gradación del cáncer, especialmente útil en entornos con recursos limitados.

La combinación de anotaciones no expertas con la capacidad de las CNN para extraer características profundas de las imágenes permite crear un sistema eficiente y accesible para su implementación en entornos clínicos. El estudio muestra que, a través de este enfoque, es posible obtener resultados precisos y consistentes, destacando el potencial de las tecnologías de inteligencia artificial para apoyar y optimizar los procesos médicos, especialmente en áreas donde la disponibilidad de expertos es limitada.

Moral (2021) se centra en el desarrollo de un sistema automatizado para la gradación del cáncer de próstata. Este sistema utiliza el índice PI-RADS (Prostate Imaging Reporting and Data System) junto con técnicas avanzadas de aprendizaje profundo para analizar imágenes de resonancia magnética. El objetivo principal es mejorar la precisión y eficiencia en la gradación del cáncer de próstata, facilitando el diagnóstico y la toma de decisiones clínicas. El sistema desarrollado incorpora algoritmos de deep learning que permiten extraer y analizar características complejas de las imágenes médicas, ofreciendo una evaluación detallada y objetiva del estado de la enfermedad. Los resultados del estudio evidencian que el uso de técnicas de deep learning mejora significativamente la precisión en la gradación del cáncer de próstata, combinado con el índice PI-RADS, puede ofrecer una herramienta robusta y confiable para la gradación del cáncer de próstata. Esta aproximación tiene el potencial de optimizar el trabajo de los radiólogos y mejorar los resultados clínicos mediante diagnósticos más precisos y rápidos.

Perez (2020) examina el desarrollo de un sistema innovador que integra anotaciones de personas no expertas con redes neuronales convolucionales (CNN) para la clasificación del cáncer de próstata. El objetivo principal del estudio es aumentar la precisión y eficiencia en la gradación del cáncer de próstata mediante el empleo de tecnologías de inteligencia artificial. Las anotaciones no expertas proporcionan un enfoque accesible y económico para la recopilación de datos, mientras que las CNN permiten una extracción y análisis detallado de las características de las imágenes médicas. Los resultados del estudio demuestran que este enfoque puede ofrecer una herramienta efectiva para apoyar el trabajo de los patólogos, proporcionando diagnósticos más rápidos y precisos. Además, la investigación resalta el potencial de las técnicas de deep learning para transformar los procesos médicos, especialmente en áreas con recursos limitados.

Mena (2023) tiene como objetivo principal diseñar y desarrollar un sistema de soporte a la decisión clínica (CDSS) que prediga el cáncer de próstata (CP) a partir de la expresión génica en tejidos de pacientes con CP y controles sanos. Se llevó a cabo una selección de genes relevantes para el CP utilizando datos de The Cancer Genome Atlas y técnicas de inteligencia artificial explicable para crear modelos comprensibles. Los modelos desarrollados mostraron un buen rendimiento en diversas métricas de calidad y fueron validados en poblaciones externas, logrando altos valores de sensibilidad y especificidad. Se obtuvieron explicaciones aditivas de Shapley del mejor modelo para ayudar a los profesionales clínicos a entender las decisiones del sistema. Estas explicaciones destacaron genes tanto conocidos como nuevos asociados con el cáncer de próstata (CP), ofreciendo una base sólida para su aplicación clínica. La validación adicional en muestras locales confirmó la viabilidad del CDSS para mejorar el diagnóstico y tratamiento del CP.

## Bases Teórica

### *Cáncer de Próstata*

Según Yanes Chacón, Villalobos Campos y Cubas González (2023), el cáncer de próstata es una enfermedad significativa para la salud pública, siendo más frecuente en hombres mayores de 50 años, con una incidencia máxima a partir de los 65 años. El aumento en la incidencia en los últimos años se debe a la mejora en las técnicas diagnósticas, el aumento de la esperanza de vida y otros factores menos conocidos, como la exposición ambiental, el estilo de vida y la genética. El adenocarcinoma es el tipo más común de cáncer de próstata y suele encontrarse en la zona periférica de la próstata. Este cáncer tiende a crecer lentamente y puede ser asintomático en las etapas iniciales de la enfermedad.

Dependiendo de las diferentes etapas y grados de agresividad de esta neoplasia, hay varias opciones de tratamiento disponibles. Para mejorar las tasas de supervivencia en pacientes con cáncer de próstata, es crucial realizar una detección temprana y aplicar un tratamiento adecuado.

El cáncer de próstata es la enfermedad más común en hombres a nivel mundial y la segunda causa de muerte por cáncer en esta población, solo detrás del cáncer de pulmón y del colon, lo que lo convierte en un problema significativo para la salud pública hoy en día. día. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), las tasas de prevalencia de esta enfermedad son más altas en los países desarrollados. En 2018, el Observatorio Mundial del Cáncer (GLOBOCAN) reportó 1,3 millones de nuevos casos de cáncer de próstata y 359.000 muertes relacionadas con el cáncer a nivel global.

En los últimos años, la incidencia del cáncer de próstata ha aumentado debido a los avances en las técnicas diagnósticas, alcanzando su punto máximo después de los 65 años. La incidencia se eleva notablemente con la edad, encontrándose pruebas histológicas en el 34% de los hombres en su quinta década de vida y en el 70% a los 80 años. Incluso cuando se desarrolla metástasis, algunos pacientes mantienen una alta tasa de supervivencia. La edad, la raza y la genética son factores de riesgo significativos para esta enfermedad.

Cuando la enfermedad está en una etapa clínicamente avanzada, un gran porcentaje de pacientes consulta a un especialista, lo que representa un problema tanto de salud como económico debido a los altos costos del tratamiento. Los factores pronósticos más utilizados incluyen, además de las metástasis viscerales, la escalada de Gleason, el antígeno prostático específico y la fosfatasa alcalina, el número y la localización de las metástasis óseas. Aunque actualmente no existe una forma de prevenir el cáncer de próstata, se recomiendan cambios en la dieta y el estilo de vida como medidas preventivas.

### Factores de riesgo del cáncer de próstata

Según Yanes Chacón, Villalobos Campos y Cubas González (2023), entre los factores de riesgo que pueden provocar cáncer de próstata se incluyen la presencia de la enfermedad en estadios clínicamente avanzados, lo que lleva a un alto porcentaje de pacientes a consultar a un especialista. Esto representa un desafío tanto de salud como económico debido a los altos costos del tratamiento. Los factores pronósticos más utilizados son la cantidad y la ubicación de metástasis óseas, así como las metástasis viscerales, la escalada de Gleason, el antígeno prostático específico y la fosfatasa alcalina. Aunque no se dispone de métodos para prevenir el cáncer de próstata, se sugieren cambios en la dieta y el estilo de vida como medidas preventivas.

Otros factores de riesgo para el cáncer de próstata incluyen un alto consumo de grasas saturadas, una ingesta baja de carotenoides, la realización de una vasectomía y la frecuencia de relaciones sexuales, entre otros; no obstante, los resultados entre estudios son contradictorios. (Báez Benavides & Armisén Yañez, 2012)

### *Etapas del cáncer de próstata*

Según Society (2021):

“*En la Etapa I del cáncer de próstata, se identifican varias características distintivas. Primero, en la clasificación cT1, N0, M0, el grupo de grado es 1 con una puntuación de Gleason de 6 o menos y un nivel de PSA inferior a 10. En esta etapa, el médico no puede palpar el tumor ni visualizarlo en estudios de imagen como la ecografía transrectal. El tumor se descubre durante una resección transuretral de la próstata (TURP) o mediante una biopsia con aguja realizada debido a niveles elevados de PSA [cT1]. No hay evidencia de propagación a los ganglios linfáticos cercanos [N0] ni a otras partes del cuerpo [M0]*”.

*“En la clasificación cT2a, N0, M0, el grupo de grado sigue siendo 1 con una puntuación de Gleason de 6 o menos y un nivel de PSA menor de 10. Aquí, el tumor es detectable al tacto durante un examen rectal digital o visible mediante técnicas de imagen, como una ecografía transrectal. El tumor está localizado en una mitad o menos de un solo lado de la próstata (derecho o izquierdo) [cT2a]. Al igual que en el caso anterior, no hay propagación a los ganglios linfáticos adyacentes [N0] ni a otras áreas del cuerpo [M0]”.*

*“Finalmente, en la clasificación pT2, N0, M0, el grupo de grado es 1 con una puntuación de Gleason de 6 o menos y un nivel de PSA menor de 10. En este caso, la próstata ha sido extraída quirúrgicamente y el tumor estaba confinado únicamente a la próstata [pT2]. No se observa propagación a los ganglios linfáticos cercanos [N0] ni a otras partes del cuerpo [M0]”.*

**Según Society (2021):**

*“En la Etapa IIA del cáncer de próstata, se presentan varias clasificaciones:*

*Para la clasificación cT1, N0, M0, el grupo de grado es 1 con una puntuación de Gleason de 6 o menos y un nivel de PSA entre 10 y 20. En esta fase, el tumor no es palpable ni visible en estudios por imágenes, como la ecografía transrectal. El tumor se detecta durante una resección transuretral de la próstata (TURP) o mediante una biopsia con aguja debido a un nivel elevado de PSA [cT1]. No hay propagación a los ganglios linfáticos adyacentes [N0] ni a otras partes del cuerpo [M0]”.*

*“En la clasificación cT2a o pT2, N0, M0, el grupo de grado sigue siendo 1 con una puntuación de Gleason de 6 o menos y un nivel de PSA entre 10 y 20. Aquí, el tumor puede ser palpable durante un examen digital del recto o visible en estudios de imagen, como una ecografía transrectal. El tumor está en una mitad o menos de un solo lado de la próstata [cT2a], o la próstata ha sido removida quirúrgicamente y el tumor estaba confinado a la próstata [pT2]. Al igual que en el caso anterior, no hay propagación a los ganglios linfáticos adyacentes [N0] ni a otras áreas del cuerpo [M0]”.*

*“Para la clasificación cT2b o cT2c, N0, M0, el grupo de grado es 1 con una puntuación de Gleason de 6 o menos y un nivel de PSA menor de 20. En esta situación, el tumor es palpable durante un examen digital del recto o visible en estudios por imágenes, como una ecografía transrectal. El tumor afecta más de la mitad de un lado de la próstata [cT2b] o ambos lados de la próstata [cT2c]. No hay evidencia de propagación a los ganglios linfáticos adyacentes [N0] ni a otras partes del cuerpo [M0]”.*

**Según Society (2021):**

*“En la Etapa IIB del cáncer de próstata, la clasificación se define por varios factores. En los casos de T1 o T2, N0, M0, el grupo de grado es 2 con una puntuación de Gleason de 3+4=7 y un nivel de PSA menor de 20. En esta etapa, el cáncer aún está limitado a la próstata y puede ser detectable, o no, durante un examen digital del recto o mediante estudios por imágenes, como una ecografía transrectal [T1 o T2]. No hay evidencia de que el cáncer se haya propagado a los ganglios linfáticos cercanos [N0] ni a otras partes del cuerpo [M0]”.*

*“En la Etapa IIC del cáncer de próstata, la clasificación incluye casos de T1 o T2, N0, M0, con un grupo de grado de 3 o 4, correspondiente a una puntuación de Gleason de 4+3=7 o 8, y un nivel de PSA menor de 20. En esta fase, el cáncer sigue confinado a la próstata y puede ser detectable, o no, durante un examen digital del recto o mediante estudios por imágenes como una ecografía transrectal [T1 o T2]. No hay signos de que el cáncer se haya extendido a los ganglios linfáticos adyacentes [N0] ni a otras partes del cuerpo [M0]”.*

*“En la Etapa IIIA del cáncer de próstata, los casos se clasifican como T1 o T2, N0, M0, con un grupo de grado que varía de 1 a 4, según una puntuación de Gleason de 8 o menos, y un nivel de PSA de al menos 20. En esta fase, el cáncer sigue confinado a la próstata y puede ser detectable, o no, durante un examen digital del recto o en estudios por imágenes como una ecografía transrectal [T1 o T2]. No hay evidencia de propagación a los ganglios linfáticos cercanos [N0] ni a otras partes del cuerpo [M0]”.*

*“En la Etapa IIIB, los casos son T3 o T4, N0, M0, con un grupo de grado que varía de 1 a 4, con una puntuación de Gleason de 8 o menos, y el nivel de PSA puede ser cualquiera. En esta etapa, el cáncer se ha extendido más allá de la próstata y puede haberse propagado a las vesículas seminales [T3], o a tejidos adyacentes como el esfínter uretral, el recto, la vejiga o la pared de la pelvis [T4]. El cáncer no se ha propagado a los ganglios linfáticos cercanos [N0] ni a otras partes del cuerpo [M0]”.*

*“La Etapa IIIC incluye cualquier clasificación T, N0, M0, con un grupo de grado 5, correspondiente a una puntuación de Gleason de 9 o 10, y cualquier nivel de PSA. En esta fase, el cáncer puede o no haber invadido tejidos adyacentes a la próstata (cualquier T), pero no se ha propagado a los ganglios linfáticos cercanos [N0] ni a otras partes del cuerpo [M0]”.*

*“En la Etapa IVA, el cáncer puede tener cualquier clasificación T y está clasificado como N1, M0. En esta etapa, el cáncer se ha propagado a los ganglios linfáticos cercanos [N1], pero no a otras partes del cuerpo [M0]. El grupo de grado y el nivel de PSA pueden ser cualquier valor”.*

*“Finalmente, en la Etapa IVB, el cáncer puede tener cualquier clasificación T y cualquier clasificación N, con M1. En esta fase, el cáncer puede estar creciendo hacia los tejidos cercanos a la próstata [cualquier T] y puede haber afectado a los ganglios linfáticos adyacentes [cualquier N]. Sin embargo, el cáncer se ha propagado a otras partes del cuerpo, como ganglios linfáticos distantes, huesos u otros órganos [M1]. El grupo de grado y el nivel de PSA pueden ser cualquier valor”.*

### *Tratamiento del cáncer de próstata*

Según Yanes Chacón, Villalobos Campos y Cubas González (2023), la prostatectomía radical ofrece el mayor potencial para una cura definitiva del cáncer de próstata en estadios localizados o tempranos, mejorando significativamente la supervivencia general y reduciendo el riesgo de metástasis a distancia. Sin embargo, esta terapia no es adecuada si el tumor se ha diseminado a las estructuras cercanas o si ya existe metástasis. La prostatectomía radical con disección de ganglios linfáticos pélvicos disminuye el riesgo de muerte relacionada con el cáncer en hombres con enfermedad localizada de alto riesgo. Actualmente, la disección de ganglios linfáticos pélvicos en el contexto de una prostatectomía radical se realiza sin conocer la presencia de metástasis, las cuales podrían identificarse antes de la cirugía mediante el uso del PSMA-PET.

La disfunción sexual y la incontinencia urinaria son las complicaciones más frecuentes tras una prostatectomía radical. Factores como la edad del paciente, la función sexual previa, la diabetes, la hipertensión arterial y el tabaquismo son riesgos para la disfunción eréctil postoperatoria. Las tasas de continencia urinaria se ven afectadas por diversos factores preoperatorios, incluyendo la edad, las características del cáncer, el tamaño de la próstata y los síntomas del tracto urinario inferior. Los pacientes mayores, aquellos con enfermedades concomitantes y los que presentan un alto índice de morbilidad suelen tener tasas de continencia más bajas. Otros factores que pueden influir en la continencia incluyen la longitud de la uretra membranosa, la presencia de un lóbulo medio, la resección transuretral prostática previa, la dimensión pélvica ósea, el tabaquismo y la diabetes tipo 2.

### *Diagnóstico del cáncer de próstata*

Según Delgado (2016), el tacto rectal, la concentración de antígeno prostático específico (APE) y el ultrasonido transrectal son herramientas diagnósticas valiosas para detectar posibles indicios de cáncer de próstata; Sin embargo, el diagnóstico definitivo solo se puede confirmar con una biopsia. La mayoría de los tumores prostáticos se localizan en la zona periférica de la próstata y suelen ser detectables mediante tacto cuando tienen un diámetro superior a 0,2 cm. El APE, una serina proteasa relacionada con la calicreína producida en las células epiteliales de la próstata, tiene la función de licuar el semen. La medición de APE en sangre es crucial para el diagnóstico del cáncer de próstata. En casos donde el APE esté entre 4 ng/ml y 10 ng/ml, se utiliza la medición del APE libre y en complejos para decidir si se requiere una biopsia. El riesgo de cáncer es menor al 10% cuando el APE es superior a 25 ng/ml, pero puede aumentar hasta el 56% si el APE libre es menor al 10%.

### *Agentes Inteligentes.*

Según Gamboa (2014):

*“Estos sistemas están diseñados para percibir su entorno, analizarlo y actuar de manera que optimicen sus posibilidades de éxito. Este enfoque permite a los investigadores abordar problemas complejos y encontrar soluciones que sean tanto útiles como comprobables. La tecnología de agentes inteligentes constituye la base de una nueva generación de sistemas computacionales. Sus aplicaciones abarcan desde la búsqueda de información en Internet distribuida masivamente hasta sistemas móviles de información, sistemas de flujo de trabajo inteligentes e infraestructura de apoyo a operaciones y decisiones corporativas”*.

### *Sistema inteligente.*

**Según Gamboa (2014):**

*“Se denomina sistema inteligente a una entidad capaz de percibir, razonar, aprender, adaptarse, tomar decisiones y actuar racionalmente para satisfacer sus metas, en un entorno determinado. Son parte de las ciencias de la computación, que cubren una serie de temas teóricos-experimentales que sirven de base para la ingeniería de aplicaciones inteligentes”*.

### *Deep Learning.*

**Según IBM (2020):**

*“El Deep Learning es una subdisciplina del Machine Learning, el cual es una parte de la inteligencia artificial. En esta técnica, las redes neuronales—modelos computacionales que imitan el funcionamiento del cerebro humano—analizan grandes cantidades de datos para aprender y perfeccionarse. Los algoritmos de Deep Learning llevan a cabo tareas repetitivas que contribuyen a mejorar gradualmente los resultados mediante "capas profundas" o "deep Layers", facilitando así el aprendizaje progresivo. Este enfoque forma parte de un conjunto más amplio de métodos de Machine Learning basados ​​en redes neuronales”*.

### *Modelos de Deep Learning*

Según Sandoval (2021), los modelos lineales buscan identificar una línea que se ajuste de manera adecuada a un conjunto de datos representados en una nube de puntos. Entre estos modelos se incluyen técnicas bien establecidas como la regresión lineal, también conocida como regresión de mínimos cuadrados, y la regresión logística, que adapta la metodología lineal para abordar problemas de clasificación. Por otro lado, los modelos de árbol se destacan por su precisión, estabilidad y facilidad de interpretación, debido a que construyen reglas de decisión que se pueden visualizar en forma de un árbol, lo cual facilita su comprensión. Finalmente, las redes neuronales intentan emular el funcionamiento del cerebro humano, donde millones de neuronas están interconectadas en una red para intercambiar información entre sí.

Según Graph (2020), los algoritmos de Deep Learning varían según el tipo de enfoque utilizado. Entre los principales algoritmos se encuentran:

**Algoritmos de regresión**: Utilizados en modelos de Deep Learning para estimar y establecer relaciones entre las diversas variables del objeto de estudio.

**Algoritmos Bayesianos**: Basados ​​en el teorema de Bayes, estos algoritmos realizados asumiendo que los valores son independientes entre sí, lo que permite hacer predicciones precisas sobre una categoría o clase dentro de un conjunto de características mediante modelos probabilísticos.

**Algoritmos de agrupación**: Utilizados en el aprendizaje no supervisado, estos algoritmos organizan datos no etiquetados en grupos o categorías, facilitando la identificación de patrones en datos sin clasificación previa.

**Algoritmos de árbol de decisión**: Funcionan como diagramas de flujo, representando decisiones y posibles resultados mediante un método específico de bifurcación, lo cual facilita la interpretación de las decisiones en el proceso.

**Algoritmos de redes neuronales**: Este tipo de algoritmo organiza sus unidades en capas interconectadas, emulando el procesamiento de información del cerebro humano a través de conexiones entre capas.

**Algoritmos de aprendizaje profundo**: Procesan datos a través de Múltiples capas de redes neuronales, simplificando la representación de la información a medida que los datos avanzan por cada capa.

Este enfoque se basa en el trabajo de Silva et al. (2020) sobre sistemas automáticos de clasificación y detección en histología de próstata, que utilizan la escala de puntuación de Gleason.

### *Modelo VGG-16*

Quispe (2020) explica que esta arquitectura está compuesta por 13 capas convolucionales, cada una seguida de una capa de *max pooling*. Después de esto, hay 3 capas totalmente conectadas, lo que justifica su nombre (VGG-16), y finalmente se encuentra un clasificador *softmax*. Esta red se distingue por tener numerosos parámetros para entrenar, lo que puede prolongar el tiempo de entrenamiento en comparación con otras redes. Sin embargo, cuenta con la ventaja de disponer de pesos preentrenados del conjunto de datos *Imagenet*, los cuales pueden utilizarse para iniciar el entrenamiento de la red propuesta, como se menciona.

Figura 1: Arquitectura de VGG-16 separada por 16 capas convolucionales

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Nota: Obtenido y modificado de Quispe (2020)

Tabla, Escala de tiempo

Descripción generada automáticamente

Figura 2: Modelo lógico de Arquitectura VGG-16 con 13 capas convolucionales y 3 densas

Nota: Obtenido y modificado de Quispe (2020)

### Modelo VGG-19

Según Jian, Jia, Shaozhong y Bilong (2020), este modelo tiene seis estructuras principales, cada una de las cuales se compone principalmente de múltiples capas convolucionales y capas completamente conectadas. El tamaño del núcleo convolucional es 3×3, y el tamaño de entrada es 224×224×3. El número de capas generalmente se concentra en 16 y 19.

Figura 3: Modelo de red VGG-19

Escala de tiempo

Descripción generada automáticamente

Nota: Obtenido y modificado de Jian, Jia, Shaozhong y Bilong (2020)

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Figura 4: Marco de entrenamiento del modelo de detección de uso de máscara

Nota: Obtenido y modificado de Jian, Jia, Shaozhong y Bilong (2020)

Utiliza una estructura alterna de múltiples capas convolucionales y capas de activación no lineales, lo cual es más efectivo que una sola convolución. Esta estructura de capas permite extraer mejores las características de la imagen, utilizando *Maxpooling* para reducir la resolución y la función de activación lineal ( *ReLU* ) para seleccionar el valor más grande en el área de la imagen como valor conjunto del área. La capa de reducción de resolución se emplea principalmente para aumentar la capacidad de la red para resistir distorsiones en la imagen, conservando las características esenciales de la muestra y disminuyendo el número de parámetros.

### Modelo ResNet50

Según Nishant y Shrivastava (2021), ResNet-50 es un modelo preentrenado que ha sido entrenado en el conjunto de datos *ImageNet* para identificar diferentes imágenes de 1000 clases. El tamaño de la imagen de entrada para la red neuronal es de 224 x 224 píxeles. Los pesos previamente entrenados en *ImageNet* se utilizaron como pesos iniciales para la propuesta de red neuronal profunda. Las capas residuales presentes en ResNet50 juegan un papel importante en la transferencia de grandes valores de gradiente a sus capas adyacentes anteriores.

Gráfico, Diagrama, Gráfico de cajas y bigotes

Descripción generada automáticamenteFigura 5: Arquitectura de ResNet50

Nota: Obtenido y modificado de Qingge, He, Yankui y Jie (2019)

Gracias a esta capa, el modelo puede extraer eficazmente patrones complejos y relevantes y resolver los problemas. problema de gradiente de desaparición. En nuestra configuración experimental, todas las capas del modelo previo al entrenamiento se mantienen abierto para aprender nuevas características de las imágenes de biopsia. Las matrices de características, adquiridas de capas CNN, se suministraron a la capa FC ajustada, donde la función sigmoidea se usó en la capa de salida.

# DISEÑO METODOLÓGICO

## Tipificación de la investigación

* Cuantitativa o cualitativa: Cuantitativa
* Experimental o no experimental: No experimental
* Alcance de la investigación (exploratorio, descriptivo, correlacional o explicativo): Exploratorio
* Básica o aplicada: Aplicada

Este estudio se enmarca en una investigación **cuantitativa**, que se caracteriza por el uso de datos numéricos para medir y analizar los resultados obtenidos en el diagnóstico del cáncer de próstata. La investigación es de tipo **aplicado**, ya que busca implementar un sistema basado en Deep Learning con el fin de resolver un problema práctico en el campo de la salud. El diseño **no es experimental** porque no se manipulan variables de forma directa, y el enfoque es **exploratorio**, dado que se pretende investigar y probar la eficacia del modelo de Deep Learning para diagnóstico médico en esta área.

Para **contrastar la hipótesis,** se empleó un método de análisis estadístico sobre el rendimiento del modelo en términos de precisión, sensibilidad, especificidad y exactitud, lo cual permite evaluar si el sistema inteligente es eficaz en la detección de cáncer de próstata. Se realizaron pruebas de predicción utilizando un conjunto de datos de imágenes histológicas de próstata y se evaluaron los resultados mediante métricas específicas.

## Tabla de operacionalización de variable

Tabla 1: Tabla operacional según Indicadores

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Variable | Dimensión | Indicadores | Medida |
| Rendimiento | Eficiencia del sistema inteligente basado en Deep Learning | Exactitud | Porcentaje |
| Precisión | Porcentaje |
| Sensibilidad | Porcentaje |
| Especificidad | Porcentaje |

Nota: Tabla elaborada por los autores en base a los tipos de variables del modelo y sus Indicadores

* Verdaderos **Positivos (TP):** Se refiere a los casos en los que la verdadera categoría del dato es 1 (positivo) y el modelo también lo clasifica como 1 (positivo).
* **Verdaderos Negativos (TN):** Se refiere a los casos en los que la verdadera categoría del dato es 0 (negativo) y el modelo también lo clasifica como 0 (negativo).
* **Falsos Positivos (FP):** Ocurre cuando el dato tiene una verdadera categoría de 0 (negativo), pero el modelo lo clasifica incorrectamente como 1 (positivo).
* **Falsos Negativos (FN):** Se presenta cuando el dato tiene una verdadera categoría de 1 (positivo), pero el modelo lo clasifica incorrectamente como 0 (negativo).

Se definen los siguientes indicadores:

**Exactitud.** La exactitud, también conocida como *accuracy*, representa la proporción de predicciones correctas (incluyendo tanto los verdaderos positivos como los verdaderos negativos) en relación con el total de casos analizados. Este indicador se calcula utilizando la siguiente fórmula.

Interfaz de usuario gráfica, Texto, Aplicación  Descripción generada automáticamente

Interfaz de usuario gráfica, Texto  Descripción generada automáticamente**Precisión**: La precisión se determina como la proporción de verdaderos positivos en comparación con el total de resultados clasificados como positivos. Esta métrica se calcula mediante la siguiente fórmula.

Interfaz de usuario gráfica, Texto, Aplicación  Descripción generada automáticamente**La sensibilidad.** La sensibilidad, también conocida como recall, evalúa la proporción de verdaderos positivos que son identificados correctamente por el modelo.

**La especificidad** (Especificity). La especificidad refleja la capacidad de una prueba para identificar correctamente los resultados negativos. Evalúa la proporción de verdaderos negativos que han sido identificados con precisión.

Interfaz de usuario gráfica, Texto, Aplicación  Descripción generada automáticamente

Los indicadores se fundamentan en el libro “Importancia del cálculo de la sensibilidad, la especificidad y otros parámetros estadísticos en el uso de las pruebas de diagnóstico clínico y de laboratorio” (Vizcaíno-Salazar, 2017). La evaluación de la usabilidad se basará en los criterios establecidos por la norma ISO25010. (iso25000, 2022).

## Población y muestra

La muestra utilizada para entrenar el sistema consta de 13,827 imágenes, las cuales se agrupan según diferentes grados de clasificación de Gleason, extraídas de la base de datos SICAPv2 (Imágenes de diapositivas completas de próstata con anotaciones de grados de Gleason). Se cuenta con la autorización para usar estas imágenes.

La data de SICAPv2 cuenta con la interpretación de la imagen correspondiente a analizar indicando a que grado de Gleason pertenece, la data SICAPv2 fue extraída de la web de (Rodríguez J. S., Mendeley Data, 2020).

La técnica de muestreo empleada fue el muestreo aleatorio estratificado, seleccionando al azar imágenes de cada grado de la clasificación de Gleason.

Se considerarán 5 estratos, cada uno definido por la clasificación de Gleason, que incluyen los grupos de grado 1 (células bien diferenciadas), grado 2 (moderadamente diferenciadas) y grados 3, 4, y 5 (poco diferenciadas).

## Técnicas, instrumentos, equipos y materiales

Para la recolección de datos en esta investigación se emplearon dos técnicas principales: **análisis documental** y **observación**. Cada técnica se aplicó en momentos específicos y estuvo acompañada de instrumentos que facilitaron el registro y análisis de la información.

**Análisis Documental**

**Propósito**: El análisis documental se utilizó para recopilar información teórica fundamental sobre modelos de Deep Learning aplicados al diagnóstico de cáncer de próstata.

**Momento de Aplicación**: Esta técnica fue empleada en la fase inicial del proyecto, cuando se construía el marco teórico y se fundamentaba la selección de modelos de Deep Learning.

**Fuentes de Consulta**: Se consultaron artículos científicos, bases de datos de imágenes médicas (como SICAPv2), y manuales técnicos que detallan la implementación de redes neuronales convolucionales.

**Instrumento**: Para organizar la información obtenida, se utilizó una **ficha de registro documental**, donde se anotaron aspectos clave de cada fuente, como datos sobre precisión y aplicaciones de los modelos en el diagnóstico de cáncer.

**Observación**

**Propósito**: La observación fue empleada para evaluar el rendimiento del sistema inteligente durante las pruebas de clasificación de imágenes de cáncer de próstata, permitiendo registrar los resultados del modelo.

**Momento de Aplicación**: Esta técnica se aplicó en la fase final del proyecto, cuando el modelo estaba listo para ser evaluado con imágenes de prueba.

**Unidad de Análisis**: La unidad de análisis consistió en las imágenes de histología de próstata usadas para validar el modelo y medir su eficacia.

**Instrumento**: Se utilizó una **ficha de observación** para registrar métricas clave como precisión, sensibilidad, especificidad y exactitud del modelo en cada prueba, documentando aciertos y errores en la clasificación de las imágenes.

**Equipos y Materiales**

Para el desarrollo y ejecución de la investigación, se utilizaron los siguientes equipos y materiales:

**Equipos de Cómputo**: Dos computadoras portátiles, una con un procesador Intel Core i7 3.20 GHz y 16 GB de RAM, y otra con un Intel Core i7 2.80 GHz y 16 GB de RAM. Ambas máquinas fueron utilizadas para entrenar el modelo de Deep Learning y desarrollar el sistema.

**Software y Herramientas**: Se emplearon Python como lenguaje de programación, el framework Django para el desarrollo del sistema web, MySQL para el almacenamiento de datos y Git/GitHub como sistema de control de versiones para gestionar el proyecto.

Los datos obtenidos a través de las técnicas de recolección fueron registrados y analizados progresivamente, de acuerdo con el avance del proyecto. Los resultados se guardaron en una base de datos MySQL para su posterior análisis y evaluación.

# RESULTADOS

## Análisis del conjunto de Imágenes

### *Descripción del conjunto de datos SICAPv2*

El conjunto total de datos SICAPv2 (Silva-Rodríguez, 2020), contiene imágenes histológicas completas de próstata, con anotaciones de puntuaciones globales de Gleason y grados de Gleason a nivel de patrón. Está diseñado para estudios de clasificación y detección de patrones en histología prostática, específicamente para la detección de patrones cribiformes y la clasificación automática según la escala de Gleason.

La base de datos presentada en este artículo, SICAPv2, es, hasta donde saben los autores, la colección pública más grande de biopsias de próstata H&E con anotaciones a nivel local de grados de Gleason. SICAPv2 es una extensión de la base de datos introducida en [17] y estará disponible públicamente después de la publicación de este artículo.

Contiene 13,827 imágenes que son divididas entre los 2 estados, entre ellas tenemos: con cáncer de próstata y sin cáncer de próstata. El conjunto de imágenes está dividido en 2 carpetas llamadas train y val. Train contiene las imágenes para entrenamiento las cuales son un total de 10,957 imágenes y val contiene las imágenes para validación con un total de 2870 imágenes.

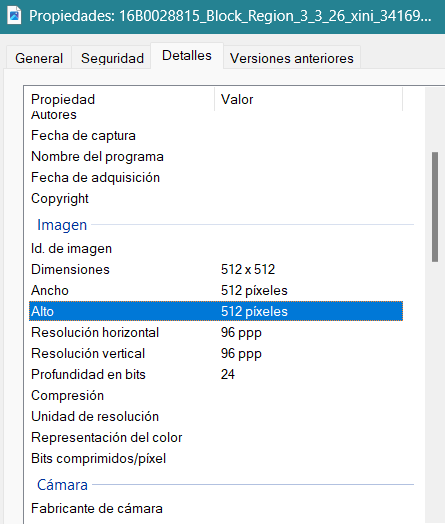
Tabla 2: Distribución de imágenes en dataset

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Dataset | Entrenamiento(train) | Validación(val) | Total | Porcentaje |
| ConCancer | 7,367 | 2,043 | 9,410 | 68% |
| SinCancer | 3,590 | 827 | 4,417 | 32% |

Nota: Tabla elaborada por los autores en base a la distribución de imágenes para el modelo

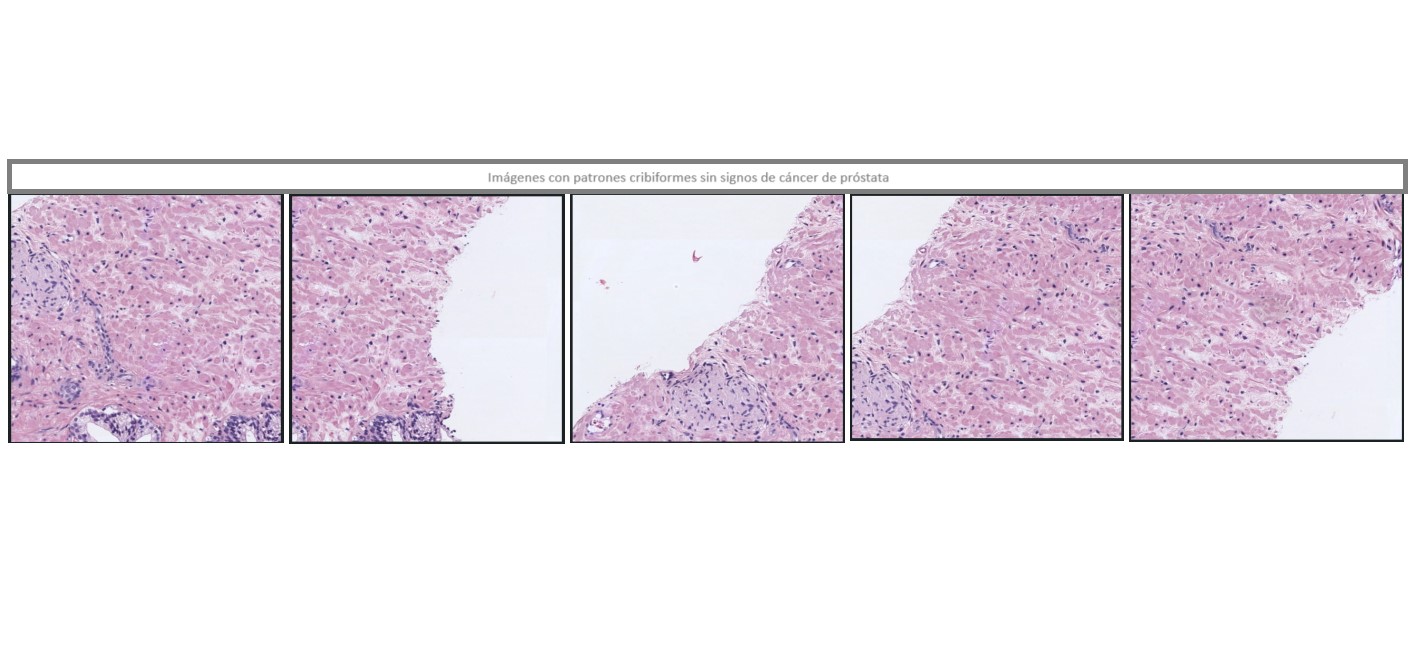
Las características principales de cada imagen del dataset son dimensiones de 512 x 512 píxeles, una resolución horizontal y vertical de 96 ppp (píxeles por pulgada), y una profundidad de color de 24 bits. Estos datos indican que la imagen tiene una resolución moderada y una profundidad de color estándar.

Figura 6: Propiedad de imagen de dataset SICAPv2



Nota: elaborado por los autores en base a las propiedades de una imagen del dataset

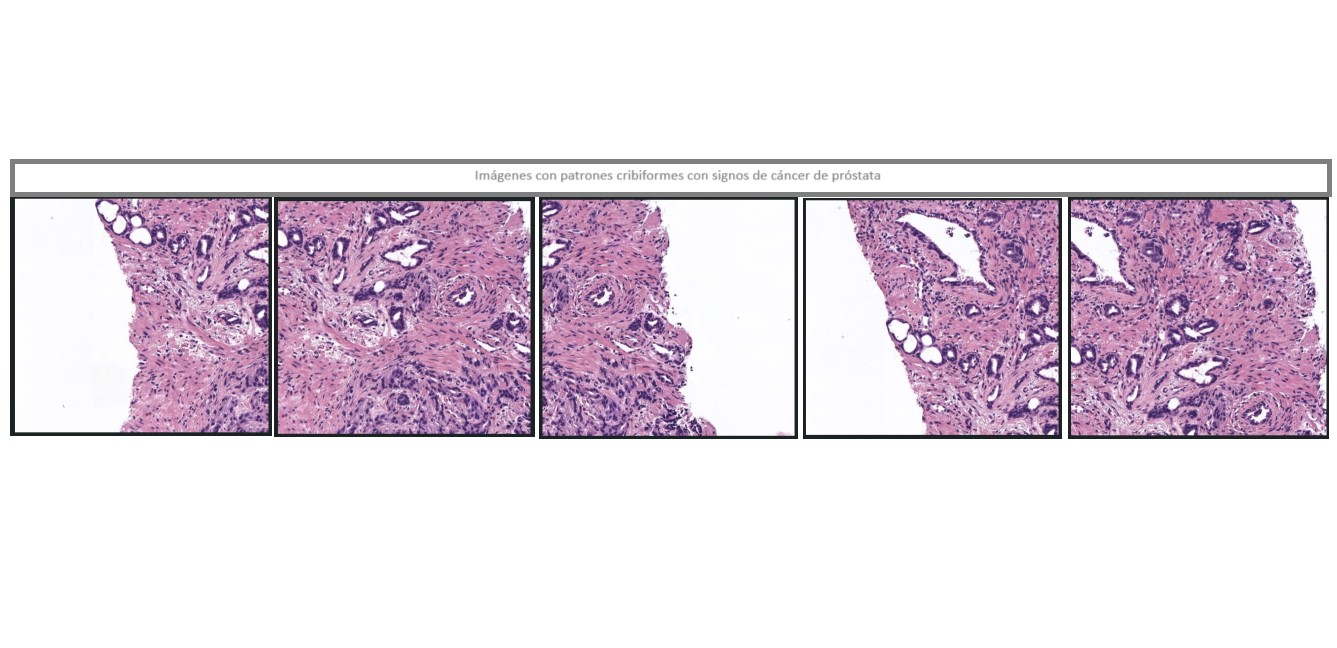
Se muestran 5 imágenes sin cáncer de próstata las cuales tienen una consistencia uniforme en las células, sin signos de crecimiento irregular, no se observan áreas de células agrupadas de manera anormal o formando patrones cribiformes.

 Figura 7: Imágenes con patrones cribiformes, no contiene signos de cáncer de próstata

Nota: Obtenido y modificado de Rodríguez S. (2020)

Se presentan 5 imágenes con cáncer de próstata, en las cuales se observan características distintivas. Las células muestran un crecimiento desordenado y agrupaciones irregulares en forma de criba, el cual es indicativo de la enfermedad. Además, se observan núcleos agrandados y patrones cribiformes, señales claras de malignidad evidenciando la gravedad del cáncer.

Figura 8: Imágenes con patrones cribiformes contiene signos de cáncer de próstata



Nota: Obtenido y modificado de Rodríguez S. (2020)

## Procesamiento de Datos

Los datos procesados incluyen una amplia gama de imágenes de estudios de cáncer de próstata para la detección de la enfermedad.

El conjunto de datos se divide en dos partes: entrenamiento y validación, ambas partes contiene 2 subcarpetas las cuales están divididas en imágenes con cáncer y sin cáncer respectivamente.

**Definición de variables y parámetros**

Primero, se especifica la ubicación de las imágenes de entrenamiento y las categorías que se clasificarán: "ConCancer" y "SinCancer". También se determina el tamaño del lote (batch size) para el entrenamiento del modelo y las dimensiones a las que se redimensionarán las imágenes, que en este caso es de 512x512 píxeles, en nuestro caso las imágenes originales no se verán afectadas ya que se trabajará con su tamaño original.

**Carga y procesamiento de imágenes**

Se crea una lista vacía que almacenará las imágenes que han sido cargados para ser analizadas junto con sus etiquetas. La función se encarga de recorrer cada categoría y procesar todas las imágenes dentro de cada categoría. Para cada imagen, se realiza lo siguiente:

* Se lee la imagen desde el disco.
* Se redimensiona la imagen a las dimensiones especificadas (512x512 píxeles).
* Se almacena la imagen redimensionada y su etiqueta (0 para "ConCancer" y 1 para "SinCancer") en la lista.

Esta función se ejecuta para cargar y procesar todas las imágenes del conjunto de datos.

Luego de procesar las imágenes, se le asignaron las etiquetas correspondientes como se ve en las siguientes imágenes:

Gráfico

Descripción generada automáticamente con confianza media

Figura 9: Procesamiento de una imagen con cáncer

Nota: elaborado por los autores en base al procesamiento de una imagen con cáncer

Figura 10: Procesamiento de una imagen sin cáncer

Interfaz de usuario gráfica

Descripción generada automáticamente con confianza media

Nota: elaborado por los autores en base al procesamiento de una imagen sin cáncer

En el procesamiento la imagen original no es redimensionada ya que el parámetro inicial es de 512x512 y se posterior a ello se procede a clasificar las imágenes con una etiqueta ya sea “SinCancer” o “ConCancer”.

## Seleccionar un modelo óptimo de Deep Learning

Se evaluaron 3 algoritmos de deep Learning que son VGG16, VGG19 y ResNet50 que se describen a continuación:

### Resultados de los modelos aplicados

#### *Resultado del modelo VGG16*

A continuación, se muestran los resultados del siguiente modelo considerando los resultados finales de loss y accuracy respectivamente:

*Interfaz de usuario gráfica, Texto, Aplicación

Descripción generada automáticamente*

Figura 11: Resultado modelo VGG-16

Tabla

Descripción generada automáticamente

Gráfico, Gráfico de líneas

Descripción generada automáticamente

Nota: elaborado por los autores en base al Accuracy del modelo VGG-16 en validación y entrenamiento

Tras entrenar el modelo con el algoritmo VGG16, se observa que la precisión de los datos de entrenamiento se mantiene constante en las últimas épocas, alcanzando un resultado del 98.32%. Por otro lado, la precisión de los datos de validación también se mantiene estable, concluyendo con un resultado del 90.10%.

La función de pérdida para los datos de entrenamiento y los datos de validación en las últimas épocas muestra resultados constantes y poco significativos, por lo que se decidió finalizar la ejecución.

#### *Resultado del modelo VGG19*

Figura 12: Resultado modelo VGG-19

**

Interfaz de usuario gráfica, Aplicación

Descripción generada automáticamente

Gráfico, Gráfico de líneas

Descripción generada automáticamente

Nota: elaborado por los autores en base al Accuracy del modelo VGG-19 en validación y entrenamiento

Después de entrenar el modelo con el algoritmo VGG19, se observa que la precisión de los datos de entrenamiento se mantiene constante en las últimas épocas, alcanzando un resultado del 98.22%. En cuanto a la precisión de los datos de validación, también se mantiene estable y finaliza con un resultado del 94.11%.

La función de pérdida para los datos de entrenamiento disminuye de manera lineal hasta alcanzar un 0.18%, lo cual es un resultado positivo. Sin embargo, la función de pérdida para los datos de validación muestra resultados constantes, por lo que se decidió finalizar la ejecución.

#### *Resultado del modelo ResNet50*

Figura 13: Resultado modelo ResNet50

Interfaz de usuario gráfica

Descripción generada automáticamenteInterfaz de usuario gráfica, Texto, Aplicación

Descripción generada automáticamente

Gráfico, Gráfico de líneas

Descripción generada automáticamente

Nota: elaborado por los autores en base al Accuracy del modelo ResNet50 en validación y entrenamiento

Después de entrenar el modelo con el algoritmo ResNet90, se observa que la precisión de los datos de entrenamiento se mantiene constante en las últimas épocas, alcanzando un resultado del 98.97%. Por otro lado, la precisión de los datos de validación también se mantiene estable, concluyendo con un resultado del 93.33%.

La función de pérdida para los datos de entrenamiento disminuye de manera lineal hasta alcanzar un 0.16%, lo que es un resultado positivo. En cambio, la función de pérdida para los datos de validación muestra resultados constantes, por lo que se decidió finalizar la ejecución.

### Elección del modelo

Tras entrenar el modelo con el algoritmo VGG19, se observa que la precisión de los datos de entrenamiento se mantiene alta en las últimas épocas, alcanzando un 98.22%. La precisión de validación también se mantiene estable, concluyendo con un 94.11%. La función de pérdida de los datos de entrenamiento disminuye de manera lineal hasta alcanzar un 0.18%, lo que es un resultado positivo. Sin embargo, la pérdida de validación muestra resultados constantes, por lo que se consideró conveniente finalizar la ejecución.

Probamos tres modelos diferentes y, después de evaluar sus desempeños, determinamos que el VGG19 era el mejor. La precisión y la pérdida de los otros modelos no lograron alcanzar ni mantener los niveles obtenidos con el VGG19. En particular, el VGG19 demostró una mayor estabilidad en las métricas de precisión y pérdida tanto en el conjunto de entrenamiento como en el de validación.

Comparado con los otros modelos, el VGG19 demostró una superior capacidad de generalización y adaptación a nuevos datos. Por estas razones, el VGG19 fue seleccionado como el mejor modelo para nuestro estudio, destacando por su alta precisión y baja pérdida, así como por su consistencia durante el proceso de entrenamiento y validación. Estos resultados indican que el VGG19 es más efectivo y fiable para la tarea de clasificación de imágenes en este contexto.

Como conclusión considerando la siguiente tabla adjunta:

Tabla 3: Resultados algoritmos aplicados

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Algoritmo | Cantidad de épocas | Accuracy | Loss |
| VGG16 | 20 | 90.10%. | 0.34% |
| VGG19 | 20 | 94,11% | 0.18% |
| ResNet50 | 20 | 93,33% | 0.16% |

Nota: Tabla elaborado por los autores en base a los resultados Accuracy de los modelos vs la pérdida de precisión obtenida

Podemos indicar que el modelo con mayor precisión y menor valor de pérdida se obtuvo aplicando el algoritmo VGG19 con una precisión de 84,11% dentro del rango de aceptación en la predicción para esta investigación.

## Desarrollar el sistema inteligente

### *Requisitos y preparación*

La investigación se llevó a cabo en la plataforma Anaconda utilizando Python 3.10 y TensorFlow 2.10. Para entrenar el modelo, se utilizó una laptop equipada con un procesador Ryzen 7 de 13ª generación y una tarjeta gráfica Nvidia GeForce RTX Studio para el procesamiento de imágenes.

### *Preparación del entorno de trabajo*

Para el desarrollo de esta investigación, se empleó el lenguaje de programación Python y la plataforma de desarrollo Anaconda, utilizando una estructura específica en nuestro dataset almacenado localmente en el explorador de archivos.

Figura 14: Directorios de trabajo

Interfaz de usuario gráfica, Aplicación

Descripción generada automáticamente

Nota: elaborado por los autores en base a la ubicación y distribución del dataset para entrenamiento y validación

Figura 15: Estructura Principal

Captura de pantalla de un celular

Descripción generada automáticamente

Nota: elaborado por los autores en base a la ubicación y distribución del dataset en sus 2 categorias

El directorio de datos del proyecto se subdividió en dos subdirectorios los cuales son train (entrenamiento) el val (validación), tienen data de la clasificación de Gleason que determina si el paciente tiene cáncer de próstata, siendo subdivididas en carpetas que tienen los siguientes nombres: ConCancer y SinCancer.

### *Desarrollo del sistema*

Se creó un sistema inteligente utilizando Python 3.11.5 y el framework Django, diseñado para asistir en el ámbito médico con la detección temprana y precisa del cáncer de próstata.

Para almacenar y gestionar los datos de manera eficiente, se ha elegido MySQL como sistema de gestión de bases de datos. Con MySQL, se asegura la integridad y la seguridad de los datos médicos sensibles.

El desarrollo consiste en la capacidad de realizar predicciones precisas utilizando un modelo de aprendizaje automático previamente entrenado. Este modelo ha sido entrenado con un amplio conjunto de datos de imágenes médicas de próstatas.

Cuando un usuario carga una imagen médica en el sistema, los datos son transmitidos al backend, donde se aplican técnicas de preprocesamiento para preparar la imagen para su análisis. Luego el modelo de aprendizaje automático entra en acción, realizando una evaluación detallada de la imagen y generando una predicción sobre la presencia o ausencia de cáncer de próstata.

Los resultados de la predicción se muestran al usuario a través de la interfaz y también pueden ser descargados en un informe en formato PDF.

A continuación, se dará información más detallada acerca de la creación del sistema inteligente:

#### *Modelo de estructura para la base de datos*

La base de datos utilizada fue Mysql, para crear nuestras tablas lo hicimos desde Django con las migraciones al definir nuestros modelos se autogeneran como tablas en nuestra base de datos y esto hace que la creación no sea un proceso manual si no automático.

#### *Desarrollo para el backend para el software*

Para el desarrollo del backend se utilizó Python en la versión 3.11.5 usando el framework Django en la versión 4.0.4.

La implementación consistió principalmente en conectar nuestro backend con nuestro modelo de predicción que ha sido entrenado anteriormente además de conectar con el frontend para recibir los datos enviados. La utilizada fue la de Modelo - Vista - Controlador.

Figura 16: Estructura de carpetas del backend

Texto

Descripción generada automáticamente

Nota: elaborado por los autores en base a la estructura backend del sistema

Esta estructura ayuda a mantener un código limpio y organizado, facilita la reutilización de código y promueve la escalabilidad de las aplicaciones.

Utilizamos Firebase Authentication que nos proporcionó una solución completa y segura para manejar el proceso de autenticación de usuarios en nuestra aplicación.

Captura de pantalla de computadora

Descripción generada automáticamente Figura 17: Cuenta enlazada al proyecto

Nota: elaborado por los autores en base al módulo de autenticación con la cuenta enlazada al sistema

Finalmente se utilizó el API de la RENIEC para obtener los datos de un usuario a través de su Dni.

Interfaz de usuario gráfica, Aplicación

Descripción generada automáticamente Figura 18: Resultados enlace de cuenta

Nota: elaborado por los autores en base a los resultados de la cuenta enlazada al sistema.

El código del sistema fue almacena en GitHub y el enlace para acceder al repositorio es <https://github.com/FSIce1/prediction_cancer_prostata>, este es un repositorio público así que cualquiera puede acceder al código.

Captura de pantalla de computadora

Descripción generada automáticamente Figura 19: Repositorio de GitHub

Nota: elaborado por los autores en base al repositorio de GitHub que contiene el proyecto

#### *Funciones*

Se detalla mediante una tabla las funciones elaboradas con una descripción explicando el funcionamiento de cada punto elaborado.

Tabla 4: Descripción de funciones

|  |  |
| --- | --- |
| Función | Descripción |
| crear\_usuario | Nos sirve para registrar el usuario para poder loguearse posteriormente. |
| Inicio | Redirige al sistema en caso de que el usuario se haya autentificado. |
| analisis\_imagen | Realiza la predicción a través del modelo. |
| cerrar\_sesion | Cierra la sesión actual en el sistema y redirige a la pestaña del login. |
| buscar\_por\_dni | Consulta el api de la RENIEC y nos devuelve los datos del usuario que se consultó con su dni. |
| resultado\_imagen | Nos lleva a la vista final que es mostrar el resultado. |
| realizar\_analisis | En esta función se consume el modelo de predicción. |
| historial\_analisis | Historial de todos los análisis realizados en el sistema. |
| pacientes | Registra los pacientes que fueron consultados por la RENIEC |
| generar\_pdf | Reporte final de cada análisis realizado |

Nota: elaborado por los autores en base al detalle de funciones del sistema

#### *Desarrollo para el frontend para el software*

Para desarrollar el frontend de la aplicación utilizamos HTML, Css y JavaScript para integrarlo con el motor de plantillas de Django, tenemos las vistas de Login, Registro, Análisis, Resultado, Historial y Pacientes.

Imagen que contiene interior, techo, persona, tabla

Descripción generada automáticamente Figura 20: Menú Login del sistema

Nota: elaborado por los autores en base al login de inicio del sistema

Para la siguiente prueba se adjuntó una imagen extraída al azar del dataset en la opción “seleccionar archivo”, posterior a ello se digita el número de DNI de la persona que está realizando la consulta, la cual genera una búsqueda a través del API de reniec los datos personales del usuario:

Interfaz de usuario gráfica, Aplicación

Descripción generada automáticamente Figura 21: Análisis de resultados

Nota: elaborado por los autores en base al análisis de resultados consulta RENIEC

A continuación, el sistema te arroja los siguientes resultados:

Interfaz de usuario gráfica, Aplicación, Teams

Descripción generada automáticamente Figura 22: Resultados de la evaluación

Nota: elaborado por los autores en base al resultado de predicción de una imagen

Adicional al resultado obtenido, el sistema nos permite exportarlo con un formato PDF para emitirle físicamente el resultado al paciente evaluado.

Figura 23: Exportable en formato PDF

*Imagen que contiene Texto

Descripción generada automáticamente*

Nota: elaborado por los autores en base al reporte final de la prueba realizada a una imagen de validación

El sistema también nos permite visualizar un reporte de todos los pacientes que realizaron una evaluación en el sistema con su resultado obtenido considerando parámetros como Dni, Nombre y Apellidos, Resultado, Porcentaje de precisión y el tiempo que demoró en realizarse la consulta.

Figura 24: Resumen de análisis ejecutados en el sistema

Interfaz de usuario gráfica, Aplicación

Descripción generada automáticamente

Nota: elaborado por los autores en base al módulo de resumen de todos los análisis realizados en el sistema

## Evaluación del rendimiento del sistema inteligente

Primero, cargamos el modelo que había sido previamente entrenado. Luego, se preparó los datos de prueba, que son imágenes organizadas en carpetas según sus categorías (Sin Cáncer y Con Cáncer). Se utilizó la herramienta TensorFlow para cargar estas imágenes y agruparlas en lotes, lo que facilita su procesamiento.

El modelo realizó predicciones sobre estos datos de prueba. Cada predicción es una suposición del modelo sobre a qué categoría pertenece cada imagen. Se convirtió estas predicciones a etiquetas que representan dichas categorías.

Luego, se comparó las predicciones del modelo con las etiquetas reales de las imágenes para evaluar su precisión. Se utilizó una matriz de confusión para ver cuántas predicciones fueron correctas y cuántas no.

También se generó un informe detallado que muestra métricas como precisión, recall y F1-score para cada categoría. Estas métricas nos ayudan a entender el funcionamiento el modelo en general y en cada categoría específica.

Por último, se identificaron las clases de las imágenes (Sin Cáncer y Con Cáncer), estas se utilizaron para analizar los resultados y hacer conclusiones sobre el rendimiento del modelo.

Explicación del modelo de rendimiento

Figura 25: Conversión de las probabilidades predichas

Interfaz de usuario gráfica, Texto

Descripción generada automáticamente

Nota: elaborado por los autores en base a la conversión de las probabilidades en matriz

Se carga el modelo previamente entrenado (modelo vgg19) y se aplica sobre un conjunto de datos de prueba llamado “test\_ds” el cual contiene imágenes organizadas para las categorías “Sin Cáncer” y “Con Cáncer”

Interfaz de usuario gráfica, Texto

Descripción generada automáticamente

Figura 26: Decisión final de categoría

Nota: elaborado por los autores en base a la decisión de categoría con librería de python Numpy

Luego de que el modelo realiza las predicciones sobre las imágenes del conjunto de prueba, obtenemos un conjunto de probabilidades para cada imagen, indicando la confianza del modelo en cada categoría posible. Sin embargo, necesitamos convertir estas probabilidades en decisiones finales sobre la categoría de cada imagen. Para hacer esto, usamos np.argmax, que selecciona la categoría con la mayor probabilidad para cada imagen. Esto nos da las etiquetas de clase predichas, que podemos comparar con las etiquetas reales para evaluar el rendimiento del modelo.

Figura 27: Etiquetas por lote

Patrón de fondo

Descripción generada automáticamente

Nota: elaborado por los autores en base a todas las etiquetas por lote de las clases predichas

Aquí se itera todo el conjunto de datos de prueba “test\_ds”, extrayendo lotes de imágenes y sus correspondientes etiquetas reales. La instrucción print(y\_reales) dentro del bucle imprime las etiquetas reales de cada lote de imágenes.

Esto significa que cada vez que el bucle itera, y\_reales contiene las etiquetas reales de un lote de imágenes del conjunto de datos de prueba. Este tipo de iteración es útil para verificar qué etiquetas se están utilizando como datos de prueba y para asegurarse de que las etiquetas reales se correspondan correctamente con las imágenes que el modelo está evaluando.

Texto

Descripción generada automáticamenteFigura 28: Almacenamiento de etiquetas reales y predictivas

Nota: elaborado por los autores en base a la etiquetas reales y predictivas y su lugar de almacenamiento

En este segmento de código, se inicializan dos listas vacías, y\_pred y y\_real, donde la primera almacenará las predicciones del modelo y la segunda almacenará las etiquetas reales de los datos de prueba. Luego, se inicia un bucle que itera sobre el conjunto de datos de prueba test\_ds, obteniendo en cada iteración un lote de imágenes (img\_batch) y sus correspondientes etiquetas reales (y\_batch). Las etiquetas reales de cada lote se añaden a la lista y\_real, y el modelo modelo\_vgg se utiliza para predecir las clases de las imágenes en el lote, almacenando las predicciones resultantes en la variable predicciones. Para cada lote de predicciones, se determina la clase con la mayor probabilidad usando np.argmax(predicciones, axis=1), lo que convierte las probabilidades de salida en etiquetas de clase que se añaden a la lista y\_pred. Después de completar el bucle y haber procesado todos los lotes de datos, se concatenan las listas y\_real y y\_pred en tensores únicos utilizando tf.concat, donde y\_reales contiene todas las etiquetas reales concatenadas y y\_predicciones contiene todas las etiquetas predichas concatenadas.

Captura de pantalla de computadora

Descripción generada automáticamente

Figura 29: Evaluación del desempeño del modelo

Nota: elaborado por los autores en base a la creación de la matriz de confusión para evaluar el desempeño del modelo

Se definen los datos de etiquetas reales, predicciones y nombres de categorías. Genera una matriz de confusión que compara las etiquetas reales con las predichas, y finalmente, dibuja un gráfico de la matriz de confusión mostrando las proporciones de clasificaciones correctas e incorrectas, permitiéndote evaluar el desempeño de tu modelo de clasificación.

Figura 30: Matriz de confusión

Gráfico

Descripción generada automáticamente

Nota: elaborado por los autores en base a los resultados de la matriz de confusión

La matriz de confusión de las dos clases: 'ConCancer' y 'SinCancer'. La interpretación de los valores en la matriz es:

**Clase 'ConCancer' (etiqueta real)**:

Verdaderos Positivos (TP): 1433 (0.96)

Falsos Negativos (FN): 72 (0.10)

**Clase 'SinCancer' (etiqueta real)**:

Falsos Positivos (FP): 57 (0.04)

Verdaderos Negativos (TN): 630 (0.90)

Los valores entre paréntesis representan la proporción de las predicciones respecto al total de predicciones para cada clase. Por ejemplo, 0.96 indica que el 96% de las predicciones para 'ConCancer' son correctas.

# DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Nuestro modelo implementado en esta investigación, VGG-19, superó a los otros dos modelos evaluados (VGG16 y ResNet50), alcanzando una precisión del 94.11% y una pérdida mínima, dentro del rango de aceptación para esta investigación. Esta precisión es comparable o incluso superior a la obtenida en otros estudios similares, lo que sugiere la efectividad de la arquitectura VGG-19 en el diagnóstico del cáncer de próstata.

En relación con la **hipótesis** planteada que la implementación de un sistema inteligente basado en Deep Learning mejora significativamente la capacidad de diagnóstico de cáncer de próstata, los resultados de este estudio la respaldan firmemente. La precisión y fiabilidad demostradas por VGG-19 evidencian que este modelo optimiza la capacidad de clasificación en comparación con métodos tradicionales y otras arquitecturas, validando su aplicabilidad en el ámbito clínico para la detección temprana de cáncer de próstata.

Aunque la optimización del tiempo de diagnóstico no fue el enfoque principal de este estudio, es importante destacar que la rapidez y eficiencia computacional de los modelos de Deep Learning son factores que deben explorarse en futuras investigaciones para garantizar su viabilidad clínica. La velocidad de procesamiento del modelo y su precisión mejorada indican que estos sistemas tienen el potencial de integrarse en flujos de trabajo médicos sin comprometer la calidad del diagnóstico.

Comparando estos resultados con la literatura previa, nuestros hallazgos son consistentes con estudios que han demostrado la eficacia de las redes neuronales convolucionales en el diagnóstico de enfermedades a partir de imágenes médicas. La alta precisión alcanzada en este estudio respalda la hipótesis inicial de que un sistema de inteligencia artificial basado en Deep Learning puede mejorar significativamente el diagnóstico del cáncer de próstata. Esto refuerza la viabilidad de utilizar herramientas avanzadas como el VGG-19 en un entorno clínico, proporcionando un diagnóstico preciso y confiable.

Es relevante señalar que, aunque nuestros resultados son prometedores, aún existen desafíos a considerar. Uno de ellos es la generalización del modelo a diferentes conjuntos de datos, ya que la variabilidad en las imágenes médicas puede afectar su rendimiento. Además, es importante desarrollar mecanismos que permitan a los profesionales de la salud interpretar de manera clara las decisiones del modelo, un aspecto esencial para su adopción en la práctica clínica. Estos desafíos deberán ser abordados en futuras investigaciones para garantizar la aplicabilidad clínica y el impacto real en la atención médica.

En comparación con estudios previos, como el de Faez (2018), quien utilizó datos del Hospital Imam Reza en Teherán y aplicó técnicas de Deep Learning y redes neuronales artificiales (ANN) para optimizar el diagnóstico de cáncer de próstata, nuestros resultados son notablemente superiores. Faez alcanzó una precisión de clasificación del 86.3%, mientras que nuestro estudio alcanzó un 94.11% con el modelo VGG-19. Esta comparación resalta la efectividad de emplear arquitecturas más avanzadas de Deep Learning, lo que sugiere que el uso de VGG-19 ofrece un rendimiento superior en la detección de esta enfermedad.

Forero Cuellar (2019) empleó el software "Orange Data Mining Fruit and Fun" para llevar a cabo minería de datos y análisis predictivo en el diagnóstico de cáncer de próstata. En su enfoque, el diagnóstico se realiza mediante la evaluación de un médico experto, quien analiza variables usando imágenes de resonancia magnética y otras técnicas tradicionales, logrando una precisión del 83.1% con regresión logística y del 79.5% con árboles de decisión. Nuestro estudio, en contraste, demuestra que los modelos de Deep Learning, particularmente VGG-19, superan considerablemente estos resultados al lograr una precisión del 94.11%, subrayando las ventajas de utilizar arquitecturas avanzadas de Deep Learning en el diagnóstico de enfermedades.

La comparación con el estudio de Forero Cuellar destaca el potencial de las técnicas de Deep Learning para superar las limitaciones de los métodos tradicionales y los algoritmos de minería de datos en la clasificación y diagnóstico del cáncer de próstata. Esto subraya la importancia de la investigación continua y la implementación de modelos más sofisticados para optimizar los resultados clínicos, mejorando la precisión y eficiencia en la detección de esta enfermedad.

En resumen, los resultados obtenidos apoyan la hipótesis de que un sistema de Deep Learning, basado en la arquitectura VGG-19, mejora significativamente el diagnóstico de cáncer de próstata a partir de imágenes médicas. Este sistema ofrece una alternativa efectiva y precisa que podría integrarse en el flujo de trabajo médico, contribuyendo a diagnósticos más rápidos y efectivos, y con el potencial de mejorar significativamente la atención y el pronóstico de los pacientes.

# CONCLUSIONES

Este estudio confirma que un sistema inteligente basado en Deep Learning, utilizando el modelo VGG19, mejora significativamente la precisión en el diagnóstico de cáncer de próstata. Con una precisión del 94.11%, el modelo VGG19 demuestra ser una herramienta prometedora que puede asistir eficazmente a los profesionales de la salud en la identificación y clasificación de esta enfermedad, optimizando los procesos de diagnóstico.

La utilización del dataset SICAPv2, compuesto por 13,827 imágenes segmentadas y divididas en dos categorías finales (con cáncer y sin cáncer), facilitó un entrenamiento exhaustivo y la evaluación de los modelos de Deep Learning. Este conjunto de datos permitió asegurar la representatividad y calidad de los resultados obtenidos, lo cual es esencial para validar la efectividad del sistema inteligente.

La evaluación y comparación de los modelos VGG16, VGG19 y ResNet50 confirma la importancia de seleccionar una arquitectura de red neuronal adecuada para obtener resultados óptimos. A pesar de que todos los modelos mostraron un buen rendimiento, el modelo VGG19 fue el más preciso y eficiente, destacándose como la mejor opción para esta tarea específica de diagnóstico médico.

La implementación del sistema inteligente desarrollado en esta investigación ofrece una herramienta valiosa para los profesionales de la salud, incrementando la precisión y eficiencia en el diagnóstico de cáncer de próstata. Este sistema tiene el potencial de mejorar la detección temprana y contribuir a una atención médica más ágil y precisa.

Los resultados obtenidos respaldan el potencial de las técnicas de Deep Learning en el diagnóstico médico, especialmente en la detección temprana de cáncer de próstata. Sin embargo, para garantizar la aplicabilidad clínica y el impacto real de esta herramienta, es necesario realizar más validaciones en entornos clínicos, de modo que se asegure su implementación exitosa en el ámbito sanitario.

En conclusión, este estudio evidencia que el uso de modelos avanzados de Deep Learning, como VGG19, puede transformar el diagnóstico del cáncer de próstata, proporcionando una herramienta precisa y eficaz para la detección temprana. La adopción de estos sistemas en el ámbito clínico podría mejorar significativamente la calidad de vida de los pacientes y optimizar los recursos médicos, destacando así la importancia de continuar con investigaciones en esta área.

# RECOMENDACIONES

En el presente estudio, hemos evaluado varios modelos de aprendizaje profundo, incluyendo VGG16, VGG19 y ResNet, con el fin de identificar el modelo más eficiente para la clasificación de imágenes médicas. Los resultados obtenidos indicaron que el modelo VGG19 superó a los otros modelos en términos de precisión y consistencia, destacándose como el modelo más adecuado para nuestro conjunto de datos específicos.

Sería beneficioso desarrollar estudios que integren no solo imágenes médicas, sino también variables clínicas adicionales, como edad, antecedentes familiares, niveles de antígeno prostático específico (PSA), y otros marcadores biológicos relevantes. Incorporar estos factores en el modelo de diagnóstico podría mejorar la precisión y la capacidad predictiva del sistema (Culig, 2020).

Para asegurar la efectividad de los modelos, es crucial que las imágenes médicas sean capturadas con corrección y que muestren claramente la región de interés. Se sugiere que los pacientes se sometan a un protocolo de captura de imágenes estandarizado para garantizar la consistencia y calidad de los datos. Además de las imágenes médicas, incorporar variables adicionales como la edad del paciente, los antecedentes familiares médicos, los niveles de antígeno prostático específico (PSA) y otros marcadores pertinentes podría ser beneficioso para aumentar la precisión del diagnóstico.

Se recomienda implementar protocolos estandarizados para la captura de imágenes médicas en futuros estudios. Esto aseguraría la consistencia y calidad de las imágenes, facilitando un entrenamiento y evaluación más precisos de los modelos y garantizando resultados más confiables en el diagnóstico (Mazurowski, 2019).

La integración del sistema con el modelo VGG19 en el sistema de salud pública contribuiría a una atención más rápida y eficiente, mejorando los resultados clínicos y la satisfacción del paciente. Para asegurar el éxito de esta implementación, es fundamental proporcionar la capacitación adecuada al personal médico y realizar pruebas piloto para ajustar el sistema a las necesidades específicas de cada hospital.

Se recomienda probar la implementación del modelo VGG19 en hospitales y centros de salud públicos para agilizar el diagnóstico de enfermedades a partir de imágenes médicas. Esto no solo podría reducir los tiempos de espera y mejorar la calidad de atención, sino también optimizar la gestión de recursos en el sistema de salud. La capacitación adecuada del personal y la realización de pruebas piloto serían esenciales para la implementación exitosa (Hinton, 2018).

Dada la superioridad demostrada por VGG19 en esta investigación, se recomienda desarrollar un sistema similar utilizando un dataset específico para la detección de cáncer de próstata y evaluar sus resultados. La arquitectura VGG19, con su capacidad para extraer características profundas y detalladas de las imágenes, puede ser particularmente efectiva en aplicaciones médicas donde la precisión es crucial. La implementación de VGG19 en estudios futuros podría potencialmente mejorar el diagnóstico y la identificación temprana de diversas condiciones médicas, contribuyendo significativamente a la práctica clínica y a la investigación biomédica.

Por último, se sugiere que los datos y modelos desarrollados en estudios futuros sean compartidos en repositorios públicos para fomentar la colaboración entre investigadores y profesionales médicos. Esto podría facilitar el avance en la investigación del diagnóstico asistido por IA y contribuir a la implementación de modelos efectivos en una mayor variedad de contextos médicos (Pineau, 2021).

# BIBLIOGRAFÍA

Forero Cuellar, O. (2019). Clasificadores supervisados del cáncer de próstata a partir de imágenes de resonancia magnética en secuencias T2.

Alvaro Daniel Quispe Carbonel. (2020). *Predicción de edad ósea con red basada en VGG-16 y Transfer Learning.* Lima.

Báez Benavides, P., & Armisén Yañez, R. (2012). Actualización en cáncer de próstata: generalidades y diagnóstico. *MEDICINA & LABORATORIO*, 333-353.

Bese Robles, M., & Miró Padilla, A. (2022). *Diseño de un sistema de clasificación semiautomático para la gradación del cáncer de próstata a partir de anotaciones no expertas y redes neuronales convolucionales.*

Carneiro Neto, P. (05 de 06 de 2020). Análisis basado en aprendizaje profundo del cáncer de próstata de MP-MRI.

Culig, Z. B. (2020). Clinical and biological relevance of the prostate-specific antigen. *European Journal of Cancer Prevention*, 3.

Delgado, D. D. (2016). CÁNCER DE PRÓSTATA: ETILOGÍA, DIÁGNOSTICO Y TRATAMIENTO. *REVISTA MEDICA DE COSTA RICA Y CENTROAMERICA LXXIII*, 707-710.

Faez, K. (2018). Mejorar el diagnóstico temprano del cáncer de próstata mediante el uso de Redes Neuronales Artificiales y Aprendizaje Profundo. *IEEE Xplore*, 4.

Gamboa, H. A. (2014). *Inteligencia Artificial - Principios y Aplicaciones.*

Guajin, W., Jeremy Yuen-Chun, T., & Kup-Sze, C. (2018). Diagnóstico de cáncer de próstata en una población china mediante el uso de métodos de aprendizaje automático. *IEEE Xplore*, 4.

Hinton, G. (2018). Deep learning—a technology with the potential to transform health care. *JAMA*, págs. 1103-1104.

*IBM*. (2020). Obtenido de https://www.ibm.com/co-es/cloud/deep-learning

*iso25000*. (3 de 10 de 2022). Obtenido de https://iso25000.com/index.php/normas-iso-25000/iso-25010/23-usabilidad

Jian, X., Jia, W., Shaozhong, C., & Bilong, L. (2020). Application of a Novel and Improved VGG-19. *Conference Series*, 7.

Lal, H., Amjad, A., Saima, R., Sharjl, S., Adnan, I., Muhammad Usama, U., . . . Doug Young, S. (2019). Aplicación del enfoque de red bayesiana a determinar la asociación entre características morfológicas extraídas de imágenes de cáncer de próstata. 16.

Mazurowski, M. A. (2019). Deep learning in radiology: An overview of the concepts and a survey of the state of the art with focus on MR. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, págs. 939-954.

Mena, A. R. (2023). *Clasificación del cáncer de próstata por medio de inteligencia artificial Explicable a partir de datos de expresión génica.* Granada.

Minsa. (2021). *El plan nacional de cuidados integrales de Cáncer.* Lima: Ministerio de Salud.

Mohamed , I., Mansoor , A., Mansour , T., Hari Kiran, V., & P., R. (2020). Una técnica de clasificación de aprendizaje automático para predicción del cáncer de próstata.

Moral, J. D. (2021). *Diseño y desarrollo de un sistema de gradación de imágenes cancerosas de resonancia magnética de próstata utilizando algoritmos de aprendizaje profundo multimodalidad.* Valencia.

Nishant, B., & Shrivastava, M. (2021). ResNet50-Based Effective Model for Breast Cancer Classification Using Histopathology Images. *Computer Modeling in*, 17.

Organización Mundial de la Salud. (01 de 02 de 2022). págs. https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cancer.

Perez, N. A. (2020). *Modelo de clasificación automática de imágenes de resonancia magnética para el diagnóstico del cáncer de próstata.* Bogotá.

Pineau, J. V.-L. (2021). Improving reproducibility in machine learning research (A report from the NeurIPS 2019 reproducibility program). *Journal of Machine Learning Research*, págs. 1-20.

Qingge, J., He, W., Yankui, S., & Jie, H. (2019). Optimized Deep Convolutional Neural Networks for Identification of Macular Diseases from Optical Coherence Tomography Images. *MDPI*, 12.

Rodríguez, J. S. (10 de 2020). *Mendeley Data*. Obtenido de Prostate Whole Slide Images with Gleason Grades Annotations: https://data.mendeley.com/datasets/9xxm58dvs3/2

Rodríguez, J. S. (2020). *SICAPv2 - Prostate Whole Slide Images with Gleason Grades Annotations*. (M. Data, Editor) Obtenido de https://paperswithcode.com/dataset/sicapv2

Rodríguez, S. (2020). *Going deeper through the Gleason scoring scale : An automatic end-to-end system for histology prostate grading and cribriform pattern detection*. Obtenido de https://paperswithcode.com/dataset/sicapv2

Silva, J., Colomer, A., Salesc, M., Molina, R., & Naranjo, V. (2020). Profundizando en la escala de puntuación de Gleason: Un sistema automático de extremo a extremo para histología de próstata, clasificación y detección de patrones cribiformes.

Silva-Rodríguez, J. (20 de 07 de 2020). *SICAPv2 - Prostate Whole Slide Images with Gleason Grades Annotations*. Obtenido de https://data.mendeley.com/datasets/9xxm58dvs3/1

Society, A. C. (2021). *American Joint Committee on Cancer*.

Vázquez, J. R. (2020). Epidemiología del cáncer de próstata. *OF NEGATIVE & NO POSITIVE RESULTS*, 12.

Vizcaíno-Salazar, G. J. (2017). Importancia del cálculo de la sensibilidad, la especificidad y otros parámetros estadísticos en el uso de las pruebas del diagnóstico clínico y de laboratorio. En G. J. Vizcaíno-Salazar. Obtenido de https://docs.bvsalud.org/biblioref/2018/05/883697/importancia-calculo-sensibilidad-y-especifidad.pdf

Yanes Chacón, A., Villalobos Campos, N., & Cubas González, S. (2023). Cáncer de próstata: una perspectiva global.

Yasser Mk, O., Fahima A., M., & Abdelrahman I., S. (09 de 10 de 2019). Predicción de la interacción farmacológica con adenosina Receptores que utilizan técnicas de aprendizaje automático y SMOTE. *IEEAccess*.