

ESTIMACIÓN DE DEMANDA COMO ESTRATEGIA DE ADMINISTRACIÓN DE ATENCIÓN MÉDICA EN CARDIOLOGÍA EN BOGOTÁ, MEDIANTE REDES NEURONALES

ESTIMATION OF DEMAND FOR MEDICAL LIKE STRATEGY OF ADMINISTRATION CARE IN CARDIOLOGY IN BOGOTÁ, THROUGH NEURAL NETWORKS

Euclides Fernando Gallo Useche¹

Roberto Ferro Escobar²

Resumen

Estudios recientes publicados en revistas científicas indican que el número de personas diagnosticadas con Enfermedades Cardiovasculares (ECV) en todo el mundo va en aumento y nuestro país no es la excepción, siendo el infarto al miocardio y el accidente cerebrovascular las dos principales causas de muerte relacionadas y las de mayor crecimiento dentro de las llamadas Enfermedades No Transmisibles (ENT). Esto nos hace ver la necesidad de estimar de una manera confiable el crecimiento de la demanda de atención en patologías ECV, con el objeto de que estos resultados sean usados por los ordenadores del gasto para programar la inversión en infraestructura y recursos a la medida de esta demanda, asimismo, se tomen las medidas necesarias para generar estrategias de prevención temprana y cambio de hábitos, basados en los factores de riesgo que más inciden en la generación de ECV. Los datos asociados a ECV para este estudio se tomaron de información abierta, proporcionada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE y del Observatorio de Salud de Bogotá de la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá. Una vez parametrizados y normalizados estos datos, fueron usados para entrenar y validar una RNA creada para esta estimación, esto permitió vislumbrar el crecimiento de esta demanda y por tanto la necesidad de tomar cartas en el asunto antes de que el sistema de salud de Colombia colapse.

Palabras clave: Inteligencia Artificial, Red Neuronal Artificial, Entrenamiento, Tendencia, Cardiovascular, Miocardio, Sistema Vascular, Factores de Riesgo, Detección Temprana, prevención.

Abstract

Recent studies published in scientific journals indicate that the number of people diagnosed with Cardiovascular Diseases (CVD) worldwide is increasing and our country is no exception, with myocardial infarction and stroke being the two main causes of death related and the fastest growing in the so-called Noncommunicable Diseases (NCDs). This makes us see the need to reliably estimate the growth of the demand for care in CVD pathologies, so that these results are used by the expense managers to program the investment in infrastructure and resources tailored to this demand. Likewise, to take the necessary measures to generate strategies for early prevention and change of habits, based on the risk factors that most affect the generation of CVD. The data associated with CVD for this study were taken from open information provided by the National Administrative Department of Statistics DANE and the Bogota

Recepción: 10 de Septiembre de 2023/ Evaluación: 05 de Octubre de 2023/Aprobado: 12 de Noviembre de 2023

¹MSc. en Ingeniería Industrial, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Electrónica y Redes (LIDER). Email: efgallou@udistrital.edu.co.

²Universidad Pontificia de Salamanca campus Madrid, España. Docente y Director IDEXUD, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Email: rferro@udistrital.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8978-538X>.

AGLALA ISSN 2215-7360

2023; Julio-Diciembre. Vol.14, N°2. PP. 317-334

Health Observatory of the District Health Secretariat of Bogotá. Once these data were parameterized and normalized, they were used to train and validate an RNA created for this estimate, this allowed us to glimpse the growth of this demand and therefore the need to take action on the matter before the Colombian health system collapses.

Keywords: Artificial Intelligence, Artificial Neural Network, Training, Trend, Cardiovascular, Myocardium, Vascular System, Risk Factors, Early Detection, prevention.

Introducción

Existe una necesidad latente de estimar la demanda de atención médica especializada en las instituciones de salud de cualquier nivel, aplicable al sistema de salud y que permita la planeación estratégica de crecimiento y adquisición de recursos e infraestructura.

Siendo las ECV el principal responsable de muertes e incapacidades a nivel mundial, donde las estadísticas sensibles tanto en cantidad como en aparición temprana, manifestándose en jóvenes adultos, personas entre los 25 y 40 años, afectando a personas en su punto más alto de capacidad productiva, generando discapacidades y muertes prematuras, lo que conlleva implicaciones para la economía del país en general y la familia en particular, debido a pérdidas en recurso humano valioso.

Se aborda el desafío global del envejecimiento de la población, que plantea preocupaciones específicas en el ámbito de la salud debido a la mayor vulnerabilidad de los adultos mayores a enfermedades e infecciones. La dependencia actual de antibióticos en este grupo ha suscitado inquietudes sobre resistencia y efectos secundarios. En este contexto, los péptidos antimicrobianos emergen como una prometedora alternativa, demostrando eficacia en el tratamiento de diversas infecciones comunes. La revisión se centra en evaluar el potencial de estos péptidos como alternativa a los antibióticos en la población de la tercera edad, considerando la necesidad de una atención médica adaptada a sus características particulares.

Este estudio tiene como objetivo evaluar la prevalencia y describir las características de la prescripción de antibióticos en un hospital de tercer nivel en Bogotá, brindando una visión significativa sobre las prácticas médicas actuales. Los resultados revelan datos esenciales: el 13.8% de las prescripciones incluyeron al menos un antibiótico, destacando la prevalencia de este tipo de medicamentos en el entorno hospitalario (López et al., n.d.). Es crucial reconocer gestión que este hallazgo puede tener implicaciones en términos de resistencia a los antibióticos y la gestión de infecciones.

Figura 1. Mortalidad según principales enfermedades en Bogotá D.C.



Nota: Fuente: SaluData- Observatorio de Salud de Bogotá, 2019

De frente a esta necesidad, se buscó la forma de aprovechar las Redes Neuronales Artificiales (RNA), para hacer una estimación del crecimiento de la demanda de servicios de cardiología, de tal manera que permitiera diseñar una herramienta útil para planeación de inversión en recursos en las instituciones de salud o generación de estrategias de prevención que permitan un decrecimiento de esta demanda al atacar los factores que inciden en esta demanda, que sea aplicable también a otras áreas de la salud.

Se planteó la hipótesis de que el uso de la Inteligencia Artificial por medio del entrenamiento de Redes Neuronales Artificiales utilizando los factores de riesgo asociados a la enfermedad cardiovascular y las estadísticas de mortalidad relacionadas a esta permite estimar y planear la demanda de servicio de cardiología en entidades pertenecientes al sistema de salud.

Se buscó ampliar el área de la geriatría explorando especializaciones que pueden llegar a contribuir a un mejor análisis en la salud geriátrica, los cuales se ven posibles de implementar en Bogotá ya que existen las capacidades profesionales y de investigación para realizar un proyecto más sofisticado en las especializaciones de la geriatría.

El objetivo principal de esta investigación fue crear una herramienta para estimar la demanda de atención médica especializada en cardiología en Bogotá D.C., apoyado en Redes Neuronales.

Para llegar a esto fue necesario recorrer cinco etapas principalmente, lo primero fue Investigar, determinar y parametrizar los principales factores de riesgo que aportan mayor peso en la estimación de la demanda de servicio de cardiología o que generan enfermedades cardiovasculares.

En segunda instancia, una vez conocido el contexto de trabajo buscó la data abierta disponible asociada con factores de riesgo cardiológico y acorde para proveer información aceptable para la estimación de la demanda del servicio de cardiología por medio del entrenamiento de la Red Neuronal. Se contó con la colaboración del Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE, la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá por medio de su Observatorio de Salud del Distrito y el Ministerio de Salud Nacional.

En tercer lugar, estando la data recopilada se ajustó y normalizó.

La cuarta fase radicó en entrenar y validar la Red Neuronal Artificial y diseñar su arquitectura para el modelo de estimación de demanda, se determinó la arquitectura de Red Neuronal a emplear en el modelo.

Finalmente, en la quinta etapa se determinó el porcentaje de datos óptimos para entrenar y validar la RNA, para luego establecer la arquitectura que mejor se comportó para la estimación del comportamiento de la demanda del servicio de cardiología en Bogotá.

Materiales y métodos

Las especializaciones que tratan los temas de la geriatría son la clínica que son médicos que se especializan en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades y problemas de salud específicos de las personas mayores, la rehabilitación geriátrica que se centran en ayudar a las personas mayores a mantener o mejorar su movilidad y funcionalidad después de enfermedades o lesiones, la psiquiatría geriátrica que se especializan en el diagnóstico y tratamiento de trastornos mentales en personas mayores.

La gerontología, aunque no es estrictamente una especialización médica, la gerontología es el estudio del envejecimiento y aborda los aspectos sociales, psicológicos y biológicos del envejecimiento. Los cuidados paliativos geriátricos que se centran en proporcionar atención de apoyo y mejorar la calidad de vida de las personas mayores con enfermedades crónicas o terminales, la medicina interna geriátrica que pueden especializarse en la atención de pacientes mayores, abordando las complejidades médicas asociadas con el envejecimiento, la enfermería geriátrica que están especializados en proporcionar atención de enfermería a personas mayores,

ya sea en entornos hospitalarios, de atención a largo plazo o en la comunidad, la farmacología que se especializan en la prescripción y gestión de medicamentos para personas mayores, teniendo en cuenta los cambios fisiológicos relacionados con la edad y la polifarmacia y la endocrinología geriátrica que se centran en los trastornos hormonales y metabólicos que afectan a las personas mayores.

Para determinar los factores de riesgo cardiovascular más impactantes se realizaron varias entrevistas a médicos expertos en distintas áreas de la salud, que atañen a factores de riesgo, quienes aportaron su conocimiento y nos crearon un Pareto de donde estaban los principales factores de riesgo y que además son factibles de ser intervenidos para disminuir los casos a futuro. Los datos asociados a los factores de riesgo de enfermedades cardiovasculares se apoyaron en varias investigaciones precedentes y en las estadísticas del DANE y El Observatorio Distrital de Salud, en el marco poblacional del distrito capital de Bogotá. Se contó con datos desde 1998 hasta el 2018; se hicieron varias pruebas cambiando el porcentaje de datos para entrenar la RNA y para validar el modelo. (Secretaria de Salud Distrital, 2019), (DANE, 2019), (Ministerio de Salud y Protección Social, 2013).

El DANE contiene información abierta clasificada, accesible desde el enlace <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/salud/> de la cual se sirvió esta investigación, entre la información que se tomó están las estadísticas por tema de mortalidad, nacimientos y defunciones, defunciones no fetales, muertes por enfermedades crónicas, y otros aspectos tomados de la encuesta de calidad de vida (DANE, 2019).

Por otra parte, la Secretaria Distrital de Salud de Bogotá cuenta como se mencionó arriba, con el Observatorio de Salud de Bogotá <https://saludata.saludcapital.gov.co/osb/> (Secretaria de Salud Distrital, 2019), herramienta que está a disposición de cualquier usuario, donde se tiene acceso a repositorios de datos estadísticos de aspectos relacionados con salud y demografía, salud mental, salud en el trabajo, enfermedades crónicas, seguridad alimentaria y nutricional, salud sexual y reproductiva, salud ambiental, oferta de servicios y muchos más. Dentro de este observatorio, se tiene enlaces a datos y graficas estadísticas de los cuales nos valimos para esta investigación, entre ellos la Pirámide poblacional en Bogotá D.C. 2005, 2015 y 2019, Tasa de natalidad en Bogotá D.C., Tasa bruta de mortalidad en Bogotá D.C., q Tasa de mortalidad infantil en Bogotá D.C., Causas de Mortalidad en Bogotá D.C., 2016 y 2017, Tasa de mortalidad asociada a enfermedades crónicas en menores de 70 años en Bogotá D.C., Tasa de mortalidad por diabetes mellitus en menores de 70 años en Bogotá D.C., Tasa de mortalidad por HTA en menores de 70 años en Bogotá D.C.

La razón por la cual se ha querido realizar esta investigación apoyados en la aplicación de redes neuronales artificiales, es debida al gran avance en aspectos teóricos y prácticos que se han desencadenado las dos últimas décadas con más fuerza, logrando gran impacto en muchas áreas del conocimiento, entre ellas la medicina (Sáenz Bajoa & Ballesteros, 2002). Es posible concebir al cerebro humano como una representación donde en el inconsciente se realizan cientos de procesos que son ajenos a la mente consiente, también es posible deducir que las maquinas pueden llegar a tener un gran potencial de aprendizaje al aplicar los algoritmos adecuados de esta forma podemos conocer el futuro que se avecina. (Ferro, Rodríguez, Martínez, Pallares, & González, 2018). Una de las mayores bondades de Las RNAs es su capacidad de recibir uno o varios estímulos y de generar una salida; otra propiedad especial que tiene es su capacidad como reconocedores de patrones altamente tolerantes a errores, lo que permite integrar las cualidades propias del razonamiento humano (que se traducen en capacidades como motivación, imaginación, intuición, voluntad y muchas más (lugo-Reyes, Maldonado-Colin, & Murata, 2014), con la lógica precisa y la alta capacidad de memoria que poseen los computadores, de esta manera resultan de gran utilidad en medicina como sistemas de apoyo a la toma de decisiones clínicas (Trujillano, March, & Sorribas, 2004).

Además, tenemos la necesidad de apoyar interdisciplinariamente las áreas de la salud desde la ingeniería y otras disciplinas puras. Se escogió el uso de MATLAB, con su Toolbox de Redes Neuronales, principalmente en razón a que su respuesta es muy rápida para este tipo de implementaciones, además, la Universidad cuenta con una licencia oficial de esta, lo que posibilita su uso y aprovechamiento.

El proyecto constó de cinco etapas, a saber:

Etapas 1. Determinación de los factores o variables que aportan mayor peso en la estimación de la demanda de servicio de cardiología.

Etapas 2. Integración de la información abierta disponible en el DANE, SALUDATA, Ministerio de Salud.

Etapas 3. Establecimiento del tamaño de base de datos que provee información aceptable para la estimación de la demanda del servicio de cardiología, parametrización y normalización de la información disponible.

Etapas 4. Creación, entrenamiento y validación de la Red Neuronal Artificial para el diseño del modelo de estimación de demanda del servicio de cardiología.

Etapas 5. Interpretación y análisis de los resultados obtenidos y posterior validación del comportamiento de la metodología usada en el diseño del modelo de estimación de la demanda de servicio de cardiología.

Resultados

Se realizaron estudios sobre el uso de antibióticos en una población de Cienfuegos proporcionando una información clave para el análisis del uso de estas sustancias que contribuyen a un proceso más eficiente sobre la cura de enfermedades el estudio sobre el uso de antibióticos en una población urbana de Cienfuegos proporciona una visión significativa sobre el uso de antibióticos en una población urbana específica. La alta tasa de utilización de antibióticos, con un 90.2% de las 164 personas encuestadas, destaca la prevalencia de esta práctica en la comunidad. La amoxicilina como el antibiótico más común y la amigdalitis como la razón principal para su uso brindan información valiosa sobre patrones específicos de prescripción y enfermedades prevalentes. La observación de que el 75.7% utilizó antibióticos bajo prescripción médica y el 23.7% se automedicó proporciona un panorama claro de la relación entre la práctica médica formal y la automedicación en la población estudiada. La identificación de grupos demográficos específicos más propensos a la automedicación, como mujeres y personas con educación preuniversitaria y universitaria, subraya la importancia de enfoques educativos y de concienciación dirigidos a estos grupos. Estos hallazgos resaltan la necesidad de campañas educativas para abordar el uso irracional de antibióticos y promover prácticas más seguras y efectivas en la gestión de infecciones en la población de Cienfuegos.

El estudio sobre péptidos antimicrobianos en ranas Arbóreas neotropicales proporciona una investigación detallada sobre péptidos antimicrobianos naturales (PAN) presentes en la piel de ranas arbóreas neotropicales. La utilización de técnicas avanzadas, como peptidómica, modelado molecular y análisis filogenético, brinda una comprensión profunda de la diversidad y la función de estos péptidos. La identificación de la familia de péptidos "hylins" y su papel crucial en la interacción con las membranas bacterianas revela información valiosa sobre los mecanismos de defensa evolutivos de estas ranas. La variabilidad en las hylins entre especies y su evolución convergente resaltan su importancia funcional y adaptativa. Este estudio no solo contribuye al conocimiento básico de la biología de estas ranas, sino que también tiene implicaciones prácticas, ya que sugiere el potencial de estos péptidos como agentes antimicrobianos en aplicaciones médicas o farmacéuticas. La investigación de péptidos antimicrobianos en la naturaleza representa una rica fuente de inspiración para el desarrollo de nuevas terapias y resalta la importancia de conservar la biodiversidad para la búsqueda de

soluciones innovadoras en el campo de la salud. (Marín Medina, Orlando García, Roberto Ferro. Péptidos)

La importancia y versatilidad de los péptidos antimicrobianos resalta la relevancia crucial de los Péptidos Antimicrobianos (PAMs) en la lucha contra infecciones, destacando su ubicuidad en organismos desde bacterias hasta seres humanos. Su diversidad evolutiva y espectro de actividad amplio, que abarca bacterias, virus, hongos y parásitos, los posiciona como herramientas versátiles en comparación con muchos antibióticos tradicionales que enfrentan limitaciones (Brunetti et al., n.d.) .

Los mecanismos de acción de los PAMs en estudio refuerzan su eficacia multifacética. La capacidad para formar poros en las membranas celulares de microorganismos, conduciendo a la lisis celular y la muerte del patógeno, demuestra su efectividad contra una amplia gama de microorganismos, incluyendo bacterias grampositivas y gramnegativas, hongos y algunos virus (col et al., n.d.) . La capacidad de algunos PAMs para penetrar en las células bacterianas e interferir con la síntesis de ADN y proteínas proporciona una estrategia adicional para prevenir la replicación y el crecimiento bacteriano (col et al., n.d.; González García et al., 2017).

El rol esencial en la inmunidad innata y potencial terapéutico destaca el papel esencial de los PAMs en la inmunidad innata y su potencial uso en el desarrollo de nuevos antibióticos y tratamientos antimicrobianos. La capacidad de estos péptidos para modular la respuesta inmunológica del huésped refuerza la capacidad del sistema inmunológico para combatir las infecciones (Brunetti et al., 2023).

La menor probabilidad de resistencia es el análisis que refuerza la ventaja significativa de los PAMs en términos de resistencia antimicrobiana. Su capacidad para ejercer múltiples acciones contra los patógenos dificulta la probabilidad de que las bacterias desarrollen resistencia específica, en contraste con los antibióticos tradicionales (Brunetti et al., 2023).

Los desafíos y futuras investigaciones a pesar de los avances, el estudio reconoce desafíos como la susceptibilidad a la degradación y toxicidad. La mención de la investigación en curso para optimizar los PAMs para abordar infecciones resistentes a antibióticos y otros problemas de salud relacionados con patógenos subraya la necesidad continua de explorar y mejorar esta perspectiva prometedora.

La situación actual en la geriatría requiere servicios sanitarios básicos y ayudas económica por parte de la comunidad y del gobierno, similares a las del resto de la población. Si nos dirigimos hacia una sociedad más envejecida, debemos poner el relieve en el desarrollo de la medicina geriátrica. El servicio geriátrico (hospitalario y su red comunitaria) en Europa y otros países es la piedra angular de la provisión de asistencia sanitaria para pacientes ancianos, y ha probado ser costo efectivo. Los hospitales de Estados Unidos han rehuído de este papel, en parte debido al énfasis en la medicina curativa de alta tecnología, pero hoy ven que los ancianos son el grupo mayoritario de pacientes hospitalizados y han empezado a trabajar en la asistencia geriátrica continua. (Arbey Gutiérrez, 2015).

En 2000, Rosselli y cols. Publicaron los resultados de un estudio en el que se determinaban las características de la medicina especializada en Colombia [4]. El método clásico para estimar la oferta de especialistas es el censo, que implica costos elevados y tiene grandes márgenes de error, incluso en los países desarrollados. Por tal motivo, los autores utilizaron un sistema conocido como captura-recaptura (mucho más utilizado en el ámbito de la zoología), pero que permitió un acercamiento a la oferta de médicos especialistas en Colombia. Dicho estudio mostró las especialidades en las que más se encuentra recurso humano son ginecología, con 2338 especialistas; seguido de anestesiología, con 1753, y de ortopedia, con 1217 especialistas. Hay especialidades con poco recurso humano, como neurología, neurocirugía, urología y algunas que ni siquiera fueron tenidas en cuenta, como geriatría. En el mismo estudio se evidenció la participación femenina en las 12 especialidades

tenidas en cuenta en el estudio; sin embargo, su participación porcentual total es apenas del 17,3 %.

La distribución geográfica de los especialistas mostró que un 34,9 % de todos los especialistas están en Bogotá; proporción que varía entre el 25,8 % para los neurocirujanos y el 46,3 % para los psiquiatras. Al agrupar las cuatro principales ciudades del país (Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla), el porcentaje de especialistas asciende al 61,5 %. (Arbey Gutiérrez, 2015)

El envejecimiento poblacional en Colombia está aumentando, con el 13,5% de los colombianos mayores de 60 años según el Censo del DANE de 2019. El Foro de la Salud y el 26° Foro Farmacéutico en Cartagena del 21 al 23 de octubre abordará este tema. Se destaca la difícil situación económica de los adultos mayores, ya que siete de cada diez no tienen pensión, según un informe de la Universidad de La Sabana. El conversatorio "Estrategias integrales para la atención del adulto mayor" el 22 de octubre abordará estos desafíos con expertos de la OPS y la Universidad Javeriana.

Según el DANE, el 20% de los adultos mayores vive en hogares unipersonales, complicando su situación, especialmente cuando enfrentan problemas de salud. El proceso de envejecimiento en Colombia es rápido, y es esencial tomar medidas para garantizar una mayor calidad de vida para esta población en crecimiento. El Dr. Carlos Cano, Geriatra, destaca la importancia de construir una comunidad inclusiva que valore y apoye a las personas mayores.

En respuesta a los desafíos, el cuidado de las personas mayores se dirige hacia modalidades comunitarias y domiciliarias, como la teleasistencia. Se señala que Colombia necesita soluciones inmediatas para garantizar una vida digna para los adultos mayores y proporcionar garantías a las próximas generaciones. Se hace un llamado a la colaboración entre el sector público, privado y los ciudadanos para abordar las necesidades de esta población de manera sostenible tanto física como emocionalmente. (ANDI, Foro Farmacéutico, 2019).

La realidad del envejecimiento poblacional en Colombia plantea desafíos significativos que requieren atención inmediata y soluciones innovadoras. El aumento constante de la población mayor de 60 años destaca la urgencia de abordar las condiciones económicas desfavorables que enfrentan, especialmente en términos de pensiones. La participación de expertos en el Foro de la Salud y el Foro Farmacéutico demuestra la importancia de abordar este problema a nivel nacional.

El elevado porcentaje de adultos mayores viviendo en hogares unipersonales subraya la necesidad de estrategias integrales que aborden no solo las cuestiones de salud física sino también la soledad y la autonomía limitada. La velocidad del proceso de envejecimiento en Colombia destaca la necesidad de medidas preventivas y de apoyo para garantizar una calidad de vida óptima para esta población.

El llamado a la colaboración entre el sector público, privado y los ciudadanos subraya la importancia de una respuesta colectiva para abordar las complejidades de las necesidades de los adultos mayores. Se destaca la importancia de programas que amplíen la cobertura para aquellos que necesitan asistencia en actividades diarias, y se promueve la conciencia y comprensión de las necesidades específicas de esta población.

En resumen, abordar efectivamente el envejecimiento poblacional en Colombia requiere una combinación de medidas económicas, sociales y de salud, así como la colaboración activa de diversos sectores de la sociedad.

La primera etapa de esta investigación fue Determinación de los factores o variables que aportan mayor peso en la estimación de la demanda de servicio de cardiología, para esto se partió de una contextualización desde el punto de vista clínico y fisiológico del sistema cardiovascular, entendiéndolo como tres partes que se encuentran integradas, estas son la sangre, el músculo cardíaco y el sistema vascular, este último conformado por las venas y

arterias. Estas tres partes reciben más o menos daño según cada factor de riesgo, pero en definitiva son las que llevan al paciente al uso del servicio especializado de cardiología. (Gallo Useche & Ochoa, n.d.)

Las enfermedades cardiovasculares (ECV) son un grupo de trastornos que afectan el corazón y los vasos sanguíneos. Estas enfermedades son la principal causa de muerte a nivel mundial a menudo hay factores de riesgo que aumentan la probabilidad de desarrollar estas condiciones. Las razones más comunes por las cuales se producen las enfermedades cardiovasculares son por Aterosclerosis que es la acumulación de placa (compuesta principalmente de grasa, colesterol y otras sustancias) en las paredes de las arterias. Esto puede estrechar las arterias y limitar el flujo sanguíneo, la Hiperlipidemia que son los niveles altos de colesterol y triglicéridos en la sangre que pueden contribuir al desarrollo de aterosclerosis y otras enfermedades <https://www.heart.org/> (American Heart Association).

Dentro de los factores de riesgo que más impactan al sistema cardiovascular tenemos dos grupos, los que son evitables y los que no lo son.

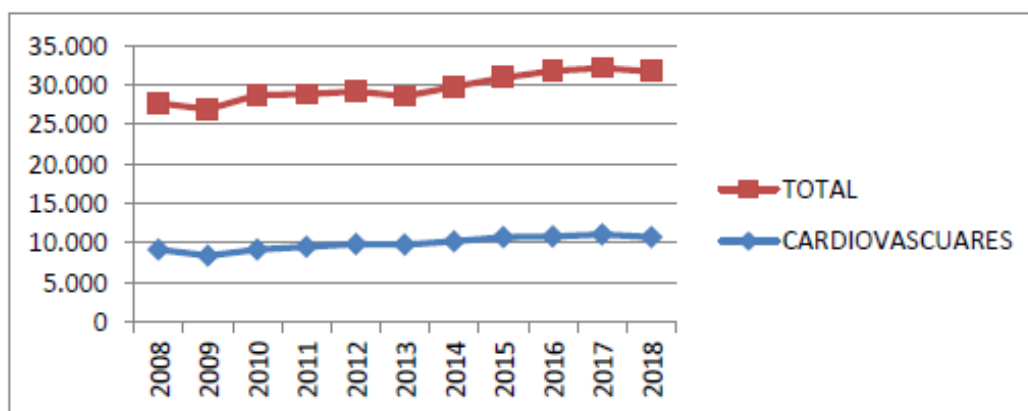
Los factores evitables o que son susceptibles de ser prevenidos o atenuados (Campos Cavada, 2010), tomando buenos hábitos alimenticios, físicos y sociales, entre estos tenemos principalmente Hipertensión Arterial (HTA), Niveles de Colesterol, Diabetes Mellitus, Obesidad, Sedentarismo, Tabaquismo, Alimentación con exceso de carbohidratos y Alcoholismo (Benjamin EJ, 2018), (Tortora & Derrickson, 2011).

De otro lado, los factores de riesgo que no son evitables son el sexo, la herencia genética, la edad, enfermedades congénitas, factores de herencia, y ambientales, estos últimos bajo el supuesto que la contaminación global sigue en aumento y que están los individuos casi obligados a soportarlos por sus compromisos laborales o de vida.

Estos factores de riesgo están basados en los resultados arrojados de los estudios a nivel mundial y obviamente en Colombia, donde se indica que la principal causa de muerte es el Infarto Agudo al Miocardio (Botero López, 2018), , seguida del Accidente Cerebro Vascular (Tortora & Derrickson, 2011), (Gorrita Pérez, Ruiz King, Hernández Martínez, & Sánchez Lastre, 2015) Hipertensión Arterial y Diabetes Mellitus (Restrepo, 2018), (López Cortés, Cifuentes Ortiz, & A., 2014), (Dávalos Cordero, 2018), estos factores se deben por lo general a valores indeseables en alguna o todas de las anteriores variables enunciadas.

A continuación, se muestra gráficamente el aporte de muertes en Bogotá, debido a enfermedades relacionadas con causa cardiovascular, las cuales con respecto a las demás muertes en Bogotá alcanzan un 34% en la última década.

Figura 2. Enfermedades-cardiovasculares vs todas



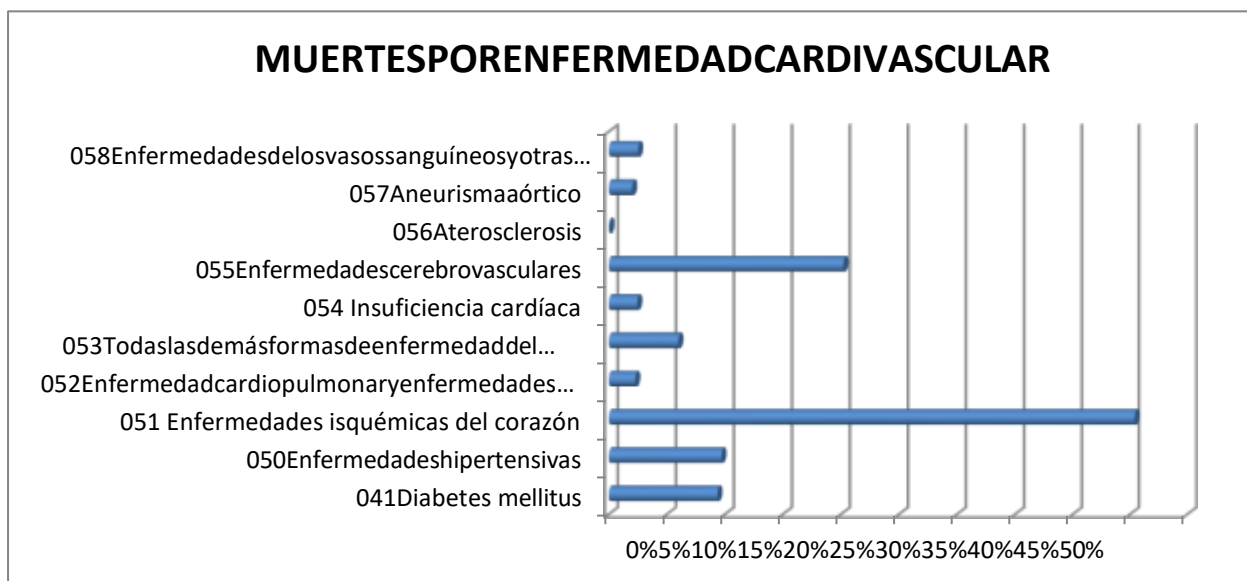
Nota: Fuente: DANE-Estadísticas vitales

La siguiente gráfica muestra en resumen como contribuye cada una de las enfermedades graficadas en la muerte por causa cardiovascular.

Fuente: DANE-Estadísticas vitales

La segunda etapa de esta investigación fue la recopilación de información susceptible correspondiente a las principales causas de muerte debidas a enfermedades del sistema cardiovascular mostradas en la gráfica anterior, para esto se procedió a integrar la información disponible en el DANE y Observatorio de Salud de Bogotá SALUDATA.

Figura 3. Aporte de la enfermedad cardiovascular a decesos en Bogotá D.C.



Nota: elaboración propia

Se contó con información muy completa de estas, contando con una base de datos que contiene las diez primeras causas de defunción desde el año 1998 al 2018, donde los que aplican en esta investigación están contenidos. Se extrajo por aparte información de los principales factores de riesgo cardiovascular de estas mismas bases de datos, dado que se evidenció que son causas directas o muy influyentes en las enfermedades cardiovasculares, por lo que afectan de manera directa la demanda del servicio de cardiología de la capital; se procedió entonces a tomar información de:

- I. Infarto agudo al miocardio
- II. Diabetes Mellitus no especificada
- III. Enfermedad Isquémica crónica del corazón
- IV. Enfermedad cardíaca hipertensiva
- V. Consumo de tabaco
- VI. Hipertensión arterial
- VII. Diabetes
- VIII. Exceso de peso en la población de 5 a 17 años en Bogotá
- IX. Exceso de peso en niños menores de 5 años en Bogotá.

En el caso de consumo de tabaco se contó con información a partir 2013 y hasta 2018, por tanto, se generaron por métodos estadísticos los datos desde 1998 a 2012.

En la tercera etapa de esta investigación se buscó establecer el tamaño de la base de datos que proveería información aceptable para la estimación de la demanda del servicio de cardiología, asimismo, se realizó la parametrización y normalización de la información seleccionada, seguidamente se realizó la adecuación de la información correspondiente a los factores de riesgo susceptible de ser usada para la cuarta etapa de esta investigación.

Dado que los datos abiertos tanto del DANE como del Observatorio de Salud de Bogotá se presentan en periodos anuales y no entregan una curva suave, se procedió a generar datos auxiliares haciendo un Split en datos bimestrales, con lo que se suavizó la curva sin perder información ni calidad en la estimación,

Una vez discretizada y ordenada la información de los factores de riesgo, se tomaron los datos y se normalizaron utilizando el método de mínimos cuadrados.

Con este método del tratamiento de los datos se obtuvo una matriz de 126*10, dando una cantidad total de 1260 datos incluyendo valores de entrada y salida juntos. En la Figura 4 se muestra la configuración final de los datos generados al ser normalizados para ser usados en la creación, entrenamiento y validación de la Red Neuronal Artificial.

Figura 4. Información convertida a frecuencias bimestrales y normalizada

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Total
0,3428	0,6053	0,4690	0,5147	0,0603	0,2215	0,1291	0,0000	0,2836	0,3772
0,3428	0,6053	0,4690	0,5147	0,0603	0,2215	0,1291	0,0000	0,2836	0,3772
0,3598	0,6304	0,4888	0,5349	0,0861	0,2435	0,1465	0,0277	0,2951	0,3917
0,3598	0,6304	0,4888	0,5349	0,0861	0,2435	0,1465	0,0277	0,2951	0,3917
0,3428	0,6053	0,4690	0,5147	0,0603	0,2215	0,1291	0,0000	0,2836	0,3772
0,3428	0,6053	0,4690	0,5147	0,0603	0,2215	0,1291	0,0000	0,2836	0,3772
0,3901	0,7159	0,5324	0,1593	0,0361	0,1272	0,0718	0,0158	0,3064	0,3950

Nota: elaboración propia

La cuarta etapa de esta investigación radicó en la creación, entrenamiento y validación de la Red Neuronal Artificial para el diseño del modelo de estimación de demanda del servicio de cardiología. La arquitectura de la RNA utilizada para este modelo fue una RNA supervisada con el modelo de perceptrón multicapa, por el hecho de contar con datos históricos para poder entrenar la RNA.

La RNA tiene las siguientes características:

- Numero de capas: se inició con una capa oculta, luego de varios entrenamientos y configuraciones se determinó que el mejor funcionamiento para este modelo debía contener una capa de entrada, dos capas ocultas y la capa de salida

- Numero de Neuronas:

- ☐ Capa de entrada: Numero de variables de entrada.

- ☐ Capa oculta: 9 para el caso inicial, después se modificó según las respuestas encontradas.

- ☐ Capa de salida: 1 neurona indicando la estimación buscada.

- Algoritmo de entrenamiento: Lanverberg-Manquardt backpropagation.

- División de los datos: Divideind.

- Función de Activación neuronas de la capa oculta: Debido a que las variables exógenas están acotadas entre 0 y 1 se usa la función LogSig.

- Función de Activación de la neurona de la capa de salida: función LogSig,

La función LogSig es la función logaritmo Sigmoidea, esta se tomó por que su curva genera una mayor sensibilidad, lo que permite tener un mayor rango de análisis.

A la hora de entrenar las redes neuronales, uno de los problemas que se debe tener en cuenta es el llamado sobreajuste (o sobre-entrenamiento). El error en el conjunto de entrenamiento es de un valor pequeño, pero cuando se introducen nuevos datos en la red el error se magnifica. La red ha memorizado los ejemplos del entrenamiento, pero no ha aprendido a generalizar ante nuevas situaciones. Hay dos métodos para mejorar la generalización de la red implementados en Toolbox para Redes Neuronales de MATLAB:

la regularización y la detención temprana (early stopping). En esta investigación se usó el método de la detección temprana, con el objetivo de estudiar la robustez de la red.

El método de la detención temprana es el método por defecto para mejorar la generalización. Esta técnica se equipa por defecto en todas las funciones de creación de RNAs, incluyendo las que utilizan el algoritmo de retropropagación (o backpropagation) como la función newff (feed-forward backpropagation network).

Este método se utiliza para evitar el sobreajuste usando la validación cruzada, en la que el conjunto de entrenamiento se divide en un conjunto de estimación (training set) y otro de validación (validation set).

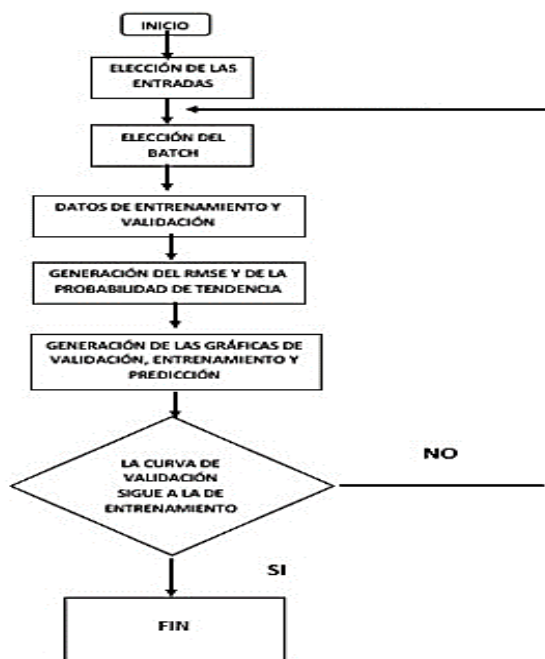
El subconjunto de estimación es usado para entrenar la red del modo habitual, salvo por una ligera modificación: la sesión de entrenamiento se detiene periódicamente para que la red sea testeada en el subconjunto de validación.

La Figura 5 muestra el diagrama de flujo que se propuso para la creación de la RNA para la estimación de la demanda de cardiología en Bogotá.

Lo primero que se realizó fue el algoritmo una vez se contó con la generación de los datos de entrenamiento de entrada y salida y la generación de los datos de entrada de validación y de salida de validación, mostrados arriba en la tabla de la figura 4. Luego se procedió a la creación y entrenamiento de la red.

Luego de crear y entrenar la red neuronal se procedió a crear un método de validación por el cual se obtuvo el valor RMSE.

Figura 5. Diagrama de flujo de proceso de creación de la RNA



Nota: elaboración propia

Posteriormente se generó otra variable de análisis que se llamó “probabilidad de tendencia”, esta probabilidad es muy usada en estimaciones de apuesta por parte de los analistas de comportamiento de divisas, en esta investigación fue usado para determinar la probabilidad de necesidad de más cardiólogos para la demanda actual en cardiología en Bogotá, con base en la probabilidad de acierto en la estimación entregada por la RNA. No obstante, es importante aclarar que la variable principal que se tuvo en cuenta en la estimación de demanda fue el RMSE, que indica el error total del sistema.

Luego se generaron las respectivas gráficas para determinar la señal de entrenamiento, de validación y predicción del sistema, para observar si efectivamente lo estaba siguiendo para en futuros próximos poder establecer una estimación correcta.

La quinta etapa de esta investigación consistió en la Interpretación y análisis de los resultados obtenidos para posteriormente validar el comportamiento de la metodología usada en el diseño del modelo, partimos por el Análisis de arquitectura de la RNA.

Teniendo en cuenta lo arriba descrito, se procedió a alimentar y analizar cada arquitectura en primera instancia con su ventana de muestreo para encontrar la que más próxima estuviera y la que mejor comportamiento tuviera, se obtuvo:

Tabla 1. Entrenamiento de RNA con arquitectura [2 1] y diferentes BATCHs

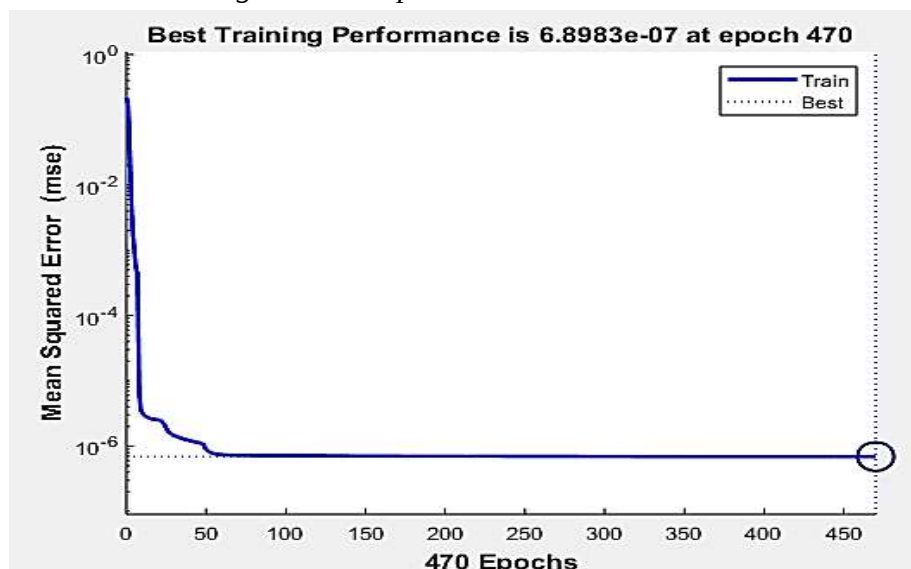
ARQUITECTURA	RMSE	TENDENCIA	BATCH
[2 1]	0,2162	50	M=115; N=11
[2 1]	0,2027	75	M=105; N=21
[2 1]	0,1790	66.7	M=95; N=31
[2 1]	0,1467	57.5	M=85; N=41
[2 1]	0,1214	62	M=75; N=51

Nota: elaboración propia

Donde M son el conjunto de datos escogidos para el entrenamiento y N son el conjunto de datos escogidos para la validación, aclarando que ambos datos vienen de la misma Tabla normalizada, mostrada en la figura 4.

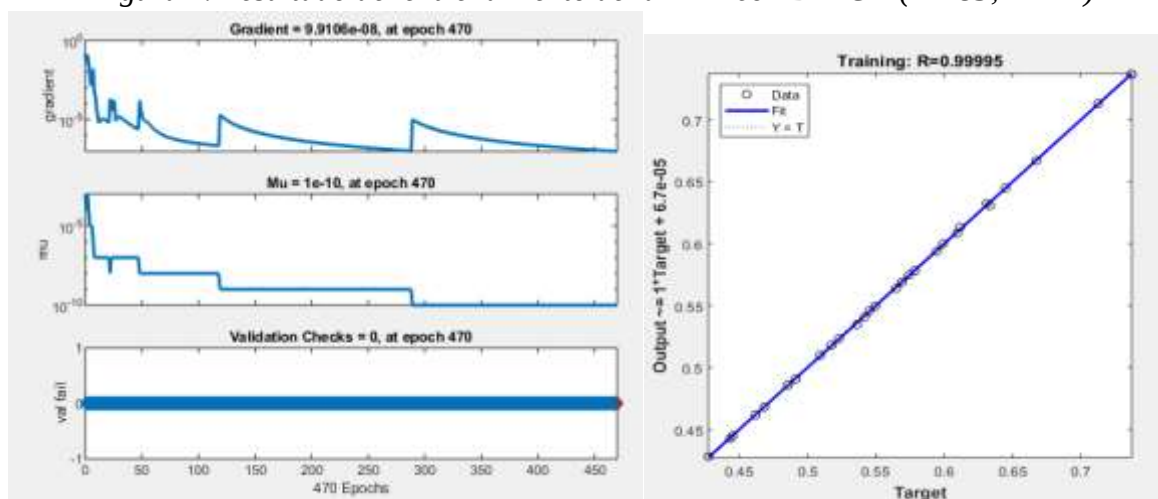
Se observó que la arquitectura [2 1] con un BATCH de M=85; N=41 es la arquitectura cuya respuesta mejor sigue a la curva original, por lo cual se procedió a usar este BATCH para el análisis de arquitecturas más robustas para analizar que configuración de la RNA presenta mejor comportamiento.

Figura 6. Comportamiento al entrenamiento



Nota: elaboración propia

Figura 7. Resultado del entrenamiento de la RNA con BATCH ($M=85$; $N=41$)



Nota: elaboración propia

ARQUITECTURAS CON BATCH ($M=85$; $N=41$)

Se escogió esta ventana de análisis, dado que la curva de predicción se aproxima más a la de entrenamiento, para este caso se tuvieron presente que los datos de validación fueron un 33% (41 datos), mientras que los datos de entrenamiento fueron el 67% aproximadamente (equivalen a 85 datos). Conociendo estos detalles se entrenó redes con las configuraciones que indica la Tabla 2., donde se encontró:

Tabla 2. Arquitecturas usadas con BATCH (M=85; N=41)

ARQUITECTURA	RMSE	PROBABILIDAD DE TENDENCIA
[2 1]	0,1467	57.5
[4 1]	0,1467	72.5
[6 1]	0,1467	60
[8 1]	0,1467	67,5
[10 1]	0,1467	65
[2 2 1]	0,1467	75
[4 4 1]	0,1467	65
[6 4 1]	0,1467	80
[10 6 1]	0,1467	65
[2 2 2 1]	0,1467	65
[2 4 4 1]	0,1467	67.5
[2 6 6 1]	0,1467	65

Nota: elaboración propia

Conclusiones

Se observó que los péptidos antimicrobianos (PAMs) se destacan como herramientas versátiles y efectivas en la lucha contra infecciones, ofreciendo un amplio espectro de actividad contra diversos patógenos. Su capacidad multifacética, que incluye la formación de poros en membranas celulares y la interferencia con la síntesis de ADN y proteínas, refuerza su potencial terapéutico. Además, su menor probabilidad de provocar resistencia, en comparación con los antibióticos tradicionales, presenta una ventaja significativa. A pesar de los desafíos, la continua investigación para optimizar los PAMs sugiere una perspectiva prometedora en la búsqueda de alternativas efectivas frente a la resistencia antimicrobiana y otros problemas de salud relacionados con patógenos.

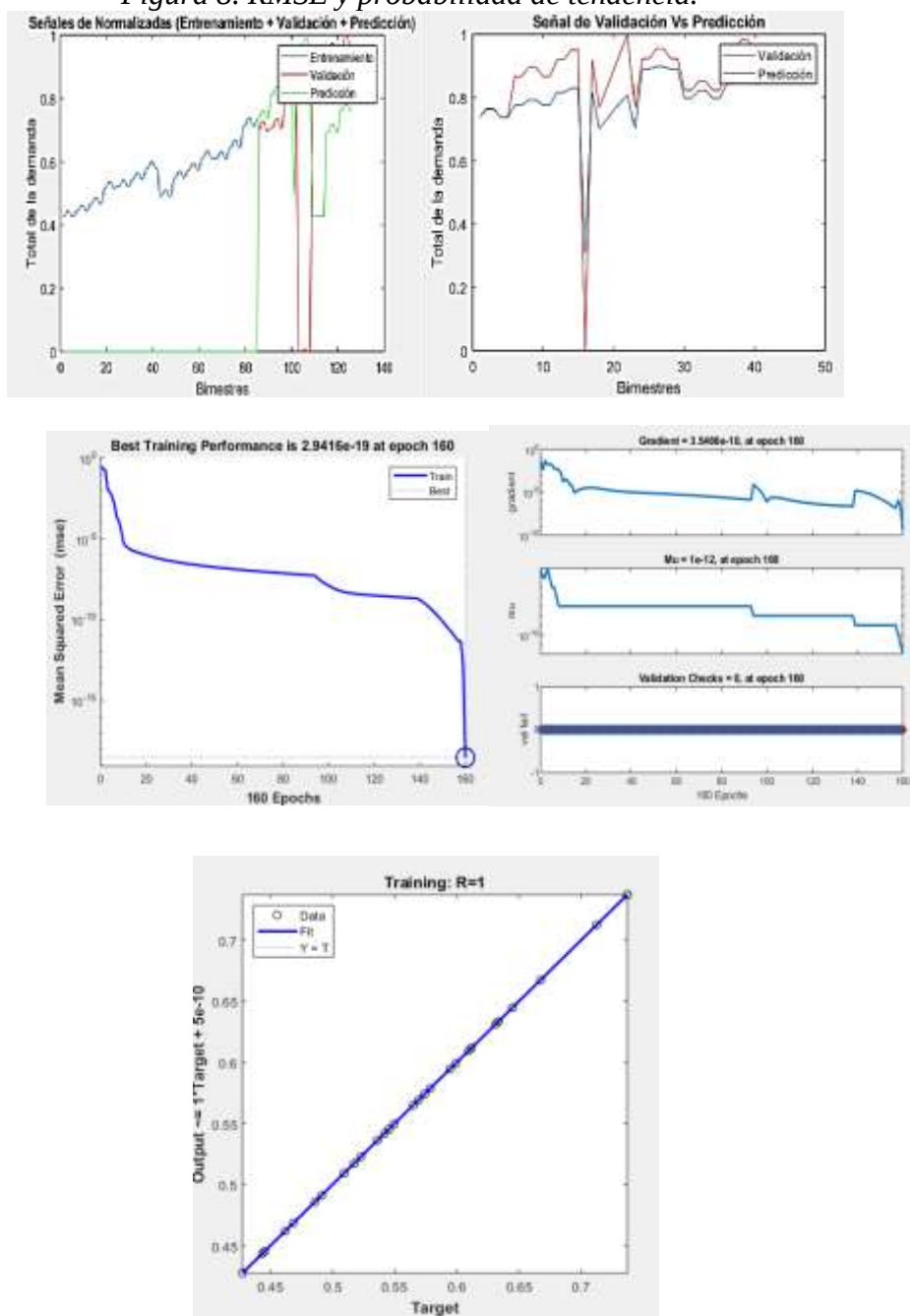
Se observó que los RMSE no variaron con el BATCH asignado, por lo que fue necesario proceder a hacer un análisis teniendo en cuenta el parámetro de probabilidad de tendencia que muestra la probabilidad de acierto de la red neuronal, para este caso se escogió la red neuronal con la arquitectura de [6 4 1]. Esto se resume en la figura 8, donde se muestran las señales de entrenamiento, validación y predicción, luego se muestra el comportamiento de la señal de

predicción con respecto a la señal de validación.

El RMSE es el error cuadrático medio que se presenta en la RNA, este indica la precisión de búsqueda del error, entre más pequeña mejor será el comportamiento.

La probabilidad de tendencia indica la certeza de un aumento factible o no de la demanda, para este caso la probabilidad de tendencia máxima adquirido fue del 75%, que indica una gran probabilidad del aumento inminente de la demanda en servicios cardiológicos, la mejor arquitectura resulto ser [6 4 1], la cual genero un RMSE de 0,1467 y una probabilidad de tendencia de 80%.

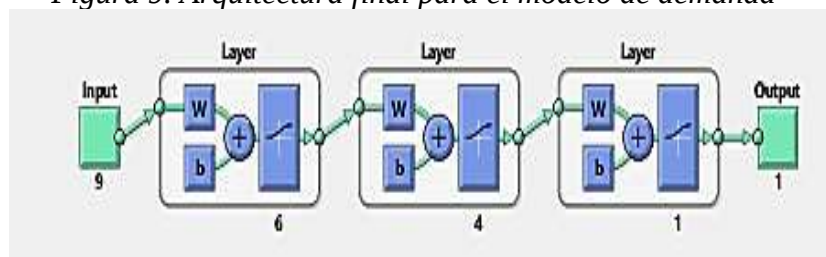
Figura 8. RMSE y probabilidad de tendencia.



Nota: Elaboración propia

En la figura 9 se muestra la Arquitectura [6 4 1] que fue la que se comportó mejor para este modelo, allí se muestran las nueve señales de entrada, las capas con sus respectivas neuronas y la salida con una neurona.

Figura 9. Arquitectura final para el modelo de demanda



Nota: elaboración propia

Observando la figura 9, de los datos de cardiología, se visualiza un aumento considerable de los casos que requieren del servicio cardiológico, también se puede visualizar un aumento considerable en cada una de las variables de entrada, esto también se debe al aumento considerable de la población capitalina, a un aumento del sedentarismo de los individuos que habitan en Bogotá por causas tecnológicas, laborales o académicas, y porque el ritmo de vida en esta ciudad es mucho más estresante y exigente para sus residentes, limitando su tiempo de descanso y de disfrute de la vida, lo que provoca cambios en la alimentación y en las actividades físicas, aumentando todos los factores de riesgo de sus habitantes.

Dado que este modelo se basa en RNA supervisada, el tiempo de estimación va dependiente de los datos que se obtengan, con una buena cantidad de datos el tiempo puede ser más prolongado para generar un análisis idóneo de la situación.

Se escogieron dos factores claves para el análisis de la red neuronal los cuales son: RMSE y Probabilidad de tendencia

La probabilidad de tendencia indica la certeza de un aumento factible o no de la demanda, para este caso la probabilidad de tendencia máxima adquirido fue del 75%, que indica una gran probabilidad del aumento inminente de la demanda en servicios cardiológicos

El proceso de validación de la red neuronal se interpreta de manera gráfica con el seguimiento respectivo que realiza a la gráfica de entrenamiento (línea azul), donde se generan de igual forma dos coeficientes el primero es el valor RMSE que indica cual es el error cuadrático medio de la arquitectura neuronal, entre más pequeña mejor y el segundo es la probabilidad de tendencia que indica la certeza de si verídicamente aumentará o disminuirá la demanda.

La metodología usada funciona de manera coherente si está la suficiente cantidad de datos para efectuarla, de igual forma si se escogen unas buenas entradas, toda RNA que tenga malas entradas, tendrá un mal resultado y esto se da en sentido contrario si el usuario elige bien las entradas de una RNA, esta se comportará de una manera correcta. Es decir, mientras se tengan datos coherentes, concretos y robustos (Buena cantidad de datos), se podrá generar una arquitectura robusta que identifique con el entrenamiento los cambios y los logre estimar de forma coherente, pero si no se tienen unas buenas entradas y una buena cantidad de datos no logrará generar la estimación o clasificación requerida según sea el caso.

Se observó que la correcta selección de una ventana de datos en el BATCH marcaba sustancialmente la diferencia en el entrenamiento, generando errores muy altos y bajos dependiendo de esta selección. Por este motivo se utilizó el conjunto de datos que dio mejores resultados en el entrenamiento, esta fue el BATCH con M=85 y N=41, entrenando con un 67%

de los datos y validando con el 33% restante, logrando unos errores RMSE bastante buenos en comparación a los obtenidos con otros conjuntos de datos.

Se evidenció que no necesariamente el aumento de neuronas hace menor el error, en ocasiones se puede llegar a tener sobre entrenamiento llegando a causar memorización, sesgando o anulando la posibilidad de estimación.

Se observó un aumento considerable de la demanda a nivel de cardiología en los últimos años, esto es debido al aumento de la población de Bogotá, al aumento de los factores de riesgo, es así como se evidencio un aumento porcentual del 31% al 34%.de los casos mortales en los factores de riesgo para enfermedades cardiovasculares.

Para este modelo se obtuvo que la mejor arquitectura resulto ser [6 4 1], la cual generó un RMSE de 0,1467 y una probabilidad de tendencia de 80%.

Esta investigación buscó generar mayor conocimiento en el uso de las redes neuronales en el campo de la salud, estos resultados se podrán extrapolar a otros servicios de salud y en general estudios de demanda.

Podrían las instituciones diseñar campañas donde se logre concienciar a la población a seguir conductas o estilos de vida que conlleven a evitar o disminuir las enfermedades asociadas, esto es, implementar una medicina preventiva que permita disminuir la cantidad de casos futuros. Asimismo, es fundamental estimar el comportamiento de esta demanda para considerar los costos a que se verán enfrentados por atención a estos pacientes.

Las especialidades que se dedican en esta área de la geriatría como lo es la geriatría clínica, la rehabilitación geriátrica, la psiquiatría geriátrica, la gerontología, los cuidados Paliativos geriátricos, la medicina interna geriátrica, la enfermería, la farmacología y la endocrinología; son ámbitos que en Bogotá pueden llegar a tener un gran impacto, como se observó sobre cada labor que tiene cada área es importante enfocarlo y dirigirlo hacia la población de la tercera edad buscando una mejor opción de análisis y atención a la salud geriátrica.

Con esta investigación se propició realzar la importancia de la Inteligencia Artificial en la prevención temprana de enfermedades de no transmisión o catastróficas, son muchas las bondades investigativas y prácticas obtenidas con la integración las AI, RNA, IoT y las apps derivadas de esta integración en aplicación en salud preventivas.

Finalmente, y desde la disciplina de la administración de la Demanda en Atención médica en Cardiología asimilada como atención primaria se asimilan los elementos dados por Mancera en 2010: 1. Hacer un diagnóstico cuantitativo y cualitativo teniendo en cuenta usuario, profesional y organización; 2. Optimizar las consultas o visitas administrativas previsibles y las prescripciones repetidas usando comunicación asertiva; 3. Modificar el tiempo de consulta ajustando citas en picos de Demanda; 4. Adecuar y minimizar las actividades preventivas; 5. Usar herramientas TIC para seguimientos; 6. Manejar los pacientes críticos; 7. Retroalimentar las pruebas complementarias y prescripciones mejorando la calidad de la prescripción reduciendo pruebas poco pertinentes; 8. Realizar abordaje psicosocial; 9. Optimizar la comunicación médico-enfermera para la asistencia; y 10. Reevaluar y reajustar las intervenciones en acuerdo con la caracterización cardiaca. Todas complementarias a las investigaciones como la estrategia aquí presentada.

Referencias bibliográficas

- ANDI. (s/f), Octubre. (2019). *Situación del adulto mayor*. 26° Foro Farmacéutico <https://www.andi.com.co/Home/Noticia/15547-situacion-del-adulto-mayor-en-colombia>
- Arbey, G. William, Junio. (2015). *Situación actual del médico geriatra en Colombia*. Univ. Méd. ISSN 0041-9095. Bogotá (Colombia), 56 (2): 163-177.

- Benjamin EJ, B. M. (2018). Resumen de estadísticas de 2017. Enfermedad del corazón y ataque cerebral. *American Heart Association, American Stroke Association*.
- Botero López, R. (2018). *Factores de riesgo cardiovascular*. Medellín: Clínica Medellín.
- Brunetti, A. E., Fuzo, C. A., Aguilar, S., Rivera-Correa, M., Marani, M. M., & Lopes, N. P. (n.d.). *Supporting Information for The Significance of Hypervariability and Conserved Motifs in Antimicrobial Peptides from Tree Frogs*.
- Brunetti, A. E., Fuzo, C. A., Aguilar, S., Rivera-Correa, M., Marani, M. M., & Lopes, N. P. (2023). The Significance of Hypervariability and Conserved Motifs in Antimicrobial Peptides from Tree Frogs. *Journal of Natural Products*, 86(7), 1761–1769. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.3c00224>
- Chalé, F. H., Ancona, D. B., & Campos, M. R. S. (2014). Compuestos bioactivos de la dieta con potencial en la prevención de patologías relacionadas con sobrepeso y obesidad; péptidos biológicamente activos. In *Nutricion Hospitalaria* (Vol. 29, Issue 1, pp. 10–20). <https://doi.org/10.3305/nh.2014.29.1.6990>.
- Campos Cavada, I. (2010). Factores de riesgo modificables para enfermedad cardiovascular en niños. *Rev An Venez Nutr.*, 23(2): 100-107.
- DANE. (2019). *Departamento Administrativo Nacional de Estadística*. Recuperado el julio 2019, <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion>
- Dávalos Cordero, V. (2018). *La obesidad y sobrepeso componente de riesgo cardiovascular*. Quito.
- Ferro, R., Rodriguez, C., Martínez, C., Pallares, L., & González, A. (2018). como piensan las maquinas según la inteligencia computacional RNA?
- Gorrita Pérez, R., Ruiz King, Y., Hernández Martínez, Y., & Sánchez Lastre, M. (2015). Factores de riesgo de enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares en adolescentes. *Rev Cubana de Pediatría*, 87(2): 140-155.
- López Cortés, L., Cifuentes Ortiz, M., & A., S. R. (2014). Calidad de vida relacionada con la salud en pacientes con diabetes mellitus tipo 2, en un hospital de mediana complejidad en Cali. *Ciencia y salud, Universidad Santiago de Cali.*, 2(8): 43-48.
- Lugo-Reyes, S., Maldonado-Colin, G., & Murata, C. (2014). *Inteligencia artificial para asistir el diagnóstico clínico*. México: Revista Alergia.
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2013). *Observatorio de Salud Cardiovascular, Diabetes y Enfermedad Renal Crónica*. Bogotá D.C.ç
- Marín- Medina N, García O., Ferro-Escobar R., Resumen, I. (n.d.). *Péptidos antimicrobianos como reemplazo a los antibióticos para las personas de la tercera edad antimicrobial peptides as a replacement for antibiotics in the elderly*.
- Mancera-Romero J., (2010). Gestión de la demanda en atención primaria. *Semergen, Medicina de Familia*, 2010;36(5):241–242Vol. 36. Núm. 5. Pp. 241-242.
- Restrepo, L. (2018). *Obesidad como factor de riesgo cardiovascular*. Medellín: Clínica Medellín.
- Sáenz Bajoa, N., & Ballesteros, A. (2002). Redes neuronales: concepto, aplicaciones y utilidad en medicina. *elsevier*, vol 30, No 2.
- Secretaría de Salud Distrital. (2019). *Observatorio de Salud del Distrito SALUDATA*. Recuperado el julio de 2019, de <http://saludata.saludcapital.gov.co>
- Tortora, G., & Derrickson, B. (2011). *Principios de anatomía y fisiología*. Bogotá D.C.: Editorial Medica Internacional LTDA.
- Trujillano, J., March, J., & Sorribas, A. (2004). *Aproximación metodológica al uso de redes neuronales artificiales para la predicción de resultados en medicina*. España: Medicina Clínica.