

**DISEÑO DE UN ALGORITMO DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA
LA ELABORACIÓN DE PLANES DE ACONDICIONAMIENTO FÍSICO
PERSONALIZADOS**

**LUIS ALEJANDRO RIVERA BEDOYA
CARLOS ALBERTO SÁNCHEZ ZAPATA**



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
INGENIERÍA INDUSTRIAL
GUADALAJARA DE BUGA
2020**

**DISEÑO DE UN ALGORITMO DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA
LA ELABORACIÓN DE PLANES DE ACONDICIONAMIENTO FÍSICO
PERSONALIZADOS**

**LUIS ALEJANDRO RIVERA BEDOYA
CARLOS ALBERTO SÁNCHEZ ZAPATA**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Industrial

**Director
Edwin Loaiza Acuña
Doctor en Ciencias - Física**



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
INGENIERÍA INDUSTRIAL
GUADALAJARA DE BUGA
2020**

Nota de Aceptación:

Firma del Jurado 1

Firma del Jurado 2

Guadalajara de Buga, 31 de agosto de 2020.

AGRADECIMIENTOS

Lejos de ser un cliché que hasta parece ser una regla en la sección de agradecimientos de los trabajos de grado, realmente deseamos agradecer a Dios primero, pues indistintamente de las creencias respetables de cada persona, es innegable que gracias a su mano todo se ha ejecutado de una manera tan perfecta que incluso podría avalar su existencia y, por ello, es nuestra primera mención.

Con una enorme satisfacción y viva gratitud reconocemos la labor, el cariño y la infinita bondad de nuestros padres, quienes como instrumentos de Dios nos han regalado, con el afán de procurar lo mejor para nosotros, todas las herramientas y el apoyo necesario para culminar exitosamente una de las mejores etapas de nuestras vidas. Les estaremos eternamente agradecidos.

Aquellos familiares y amigos que nos acompañaron durante todo el proceso, les debemos una inmensa gratitud por sus diferentes muestras de comprensión, apoyo, solidaridad y aliento en muchos momentos de esta etapa, pues sin pensarlo estaban contribuyendo con un logro significativo para nosotros y, que también, es de ustedes.

Agradecemos enormemente al grupo de expertos quienes fueron pieza clave para lograr el desarrollo del proyecto, especialmente a Johan David Tofiño Vélez, quien desde un principio tuvo la plena disposición de colaborar y fue el principal apoyo en la planeación y ejecución de cada fase del presente trabajo.

También le expresamos a nuestro director de trabajo de grado nuestros más sinceros agradecimientos por ser una pieza clave para cumplir con el último eslabón para lograr ser ingenieros industriales, y quien desde segundo semestre contribuyó desde su investidura como docente a nuestro desarrollo personal y profesional.

Por último, agradecemos a todos los docentes que, en algún momento de la carrera, nos brindaron sus conocimientos de la mejor manera posible y muchas experiencias que atesoraremos de por vida, pues ustedes en nosotros desarrollaron grandes capacidades y construyeron unos profesionales íntegros y con conocimientos para desempeñarnos exitosamente donde sea de aquí en adelante.

A absolutamente todas las personas que hacen parte de la Universidad del Valle y a quienes ya nombramos les damos las gracias, muchas gracias por todo, que Dios, la vida, el universo, haga infinito todo aquello que los hace felices.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	8
INTRODUCCIÓN	9
OBJETIVO GENERAL	12
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
ANTECEDENTES GENERALES	12
CAPÍTULO 1: DETERMINACIÓN DE VARIABLES DE INTERÉS	15
1.1. METODOLOGÍA	15
1.2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA: CRITERIOS Y VARIABLES PARA LA SELECCIÓN DE EJERCICIOS	16
1.3. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE ELABORACIÓN DEL PLAN DE ACONDICIONAMIENTO FÍSICO PERSONALIZADO	19
1.4. SELECCIÓN DE VARIABLES DE INTERÉS	21
1.5. ELABORACIÓN DEL FORMULARIO DE VARIABLES	22
CAPÍTULO 2: FORMULACIÓN DEL ALGORITMO DE REDES NEURONALES	25
2.1. METODOLOGÍA	25
2.2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA: REDES NEURONALES Y PROGRAMACIÓN EN PYTHON	26
2.3. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS	31
2.4. DEFINICIÓN DE VALORES OBJETIVO	33
2.5. RECOLECCIÓN DE DATOS	35
2.6. ESTRUCTURACIÓN DEL ALGORITMO	42
2.7. PROGRAMACIÓN DEL ALGORITMO	48
CAPÍTULO 3: VALIDACIÓN DE RESULTADOS DEL ALGORITMO	54
3.1. METODOLOGÍA	54
3.2. PRUEBA PILOTO	54
3.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	55
CONCLUSIONES	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
ANEXOS	64

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Elementos de una neurona.	27
Figura 2. Estructura de una red neuronal básica.	29
Figura 3. Submodelo de red neuronal - Ejemplo.	45
Figura 4. Importación de librerías y set de datos - Python.	48
Figura 5. Definición de datos de entrenamiento y prueba – Python.	49
Figura 6. Creación de la red neuronal – Python.	50
Figura 7. Desempeño de la red neuronal – Python.	52
Figura 8. Tamaño de lotes y ciclos – Python.	52
Figura 9. Almacenamiento de resultados – Python.	53
Figura 10. Predicción de nuevas rutinas – Python.	53

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Metodología del capítulo 1.	15
Tabla 2. Descripción de variables.	23
Tabla 3. Descripción matemática de variables.	24
Tabla 4. Metodología del capítulo 2.	25
Tabla 5. Funciones de activación.	28
Tabla 6. Parámetros de rutinas de entrenamiento.	31
Tabla 7. Escala de Borg.	33
Tabla 8. Tests aplicados.	34
Tabla 9. Resumen información de la población objetivo.	37
Tabla 10. Ejemplo de rutina de ejercicios de un día.	37
Tabla 11. Ejemplo de rutina de ejercicios con calificación y modificación.	40
Tabla 12. Ejemplo de datos completos de rutinas y calificaciones recopilados.	41
Tabla 13. Ejemplo de información de test aplicados.	41
Tabla 14. Organización de datos de variables.	43
Tabla 15. Organización de datos de rutinas y calificaciones.	43
Tabla 16. Metodología del capítulo 3.	54
Tabla 17. Resumen de calificaciones individuos.	56
Tabla 18. Resumen de calificaciones expertos.	56

RESUMEN

El presente trabajo evidencia la colaboración de ingenieros industriales con expertos en las ciencias de la salud con el objetivo de diseñar un algoritmo de redes neuronales artificiales para la elaboración de planes de acondicionamiento físico personalizados para los usuarios de un centro de acondicionamiento físico de la ciudad. A través del método Delphi, se obtuvieron las variables de entrada para el algoritmo luego de realizar con los expertos un listado con los datos relevantes que se deben tener en cuenta para diseñar adecuadamente un plan de acondicionamiento. Además, se diseñó un formulario y se seleccionó una población objetivo para la recolección de datos de variables.

Posteriormente, se diseñó el algoritmo de redes neuronales con las variables de entrada seleccionadas y con base en la estructura básica de un plan de acondicionamiento físico y la prescripción de ejercicios, además de los datos recolectados de la población objetivo de variables, así como de un segundo formato con el cual se recolectó información de las rutinas de ejercicios y la percepción de los individuos luego de ejecutarlas. Estos datos sirvieron para alimentar y activar el mecanismo de aprendizaje del algoritmo. Por último, se validó el funcionamiento del algoritmo por medio de una prueba piloto, diseñando planes para una población diferente y recolectando los datos de su percepción, así como la de los expertos.

En conclusión, la correcta selección de las variables, la forma de recolección de la información y la definición del mecanismo de aprendizaje del algoritmo, fueron la base del éxito del algoritmo, el cual arrojó resultados positivos en cuanto a la elaboración de planes de acondicionamiento físico personalizados, de acuerdo con la percepción de los individuos de la prueba piloto.

Palabras clave: redes neuronales artificiales, acondicionamiento físico, Delphi, ejercicios, percepción.

INTRODUCCIÓN

Los ingenieros industriales son muy polifacéticos en el sentido en que pueden trabajar o, mejor dicho, colaborar con expertos de otras áreas en cualquier tipo de organización, formando relaciones sinérgicas que al final se traducen en la mejora de los procesos de estas organizaciones, aumentando su eficiencia, su productividad y, por lo tanto, su competitividad.

En este caso, se evidencia una colaboración con expertos en las ciencias de la salud para crear un proyecto cuyos resultados satisfarán la necesidad identificada en los centros de acondicionamiento físico, de una herramienta confiable que sirva de apoyo para la elaboración de los planes de acondicionamiento físico personalizados, una de las principales actividades de los procesos misionales que se encuentra a cargo de los instructores de estas entidades, mejorando su eficiencia y el servicio que prestan, contribuyendo a mantener y fortalecer la salud física de los usuarios de dichos centros y proporcionando una base útil para toda la comunidad educativa en la elaboración de proyectos de inteligencia artificial aplicada en el ámbito de los deportes, específicamente en el entrenamiento de pesas.

Actualmente, la inactividad física es uno de los principales factores de riesgo de mortalidad a nivel mundial y así como de padecer enfermedades no transmisibles (ENT), como enfermedades cardiovasculares, cáncer y diabetes. A pesar de tener importantes beneficios para la salud y contribuir a prevenir las ENT, a nivel mundial, uno de cada cuatro adultos y más del 80% de la población adolescente del mundo no tiene un nivel suficiente de actividad física. (Organización Mundial de la Salud, 2018)

Sin embargo, conscientes de lo anterior, por moda o por motivos de superación personal, muchas personas alrededor del mundo han adoptado un estilo de vida saludable o fitness, cuya industria ha tenido un crecimiento exponencial desde hace 8 años, pues solo entre 2011 y 2015 el aumento de la cantidad de gimnasios en Colombia fue de 46,3%, a pesar de ser un país donde el auge de esta industria apenas comienza a evidenciarse, es decir que solamente con una pequeña fracción de la población mundial se ha venido creando un mercado muy competitivo al cual se están incorporando nuevos usuarios muy rápidamente. En Colombia hay al menos 1752 centros de acondicionamiento físico y cerca de 979.000 usuarios vinculados, lo que hace que el país ocupe el quinto lugar en Latinoamérica y facture unos US\$ 376 millones anuales (Meza, 2019).

Los centros de acondicionamiento físico son los mayores exponentes de la industria fitness, pues estos generalmente poseen el personal, la maquinaria, los implementos y el espacio requerido para que las personas puedan mantener este estilo de vida. Sin embargo, dadas las distintas modalidades de entrenamiento que existen, además del crossfit y las pesas, la propagación del uso de redes sociales

donde las personas han hallado un medio para compartir información sobre el tema y la gran cantidad de gimnasios que se han creado; los usuarios de estas entidades se hacen cada vez más exigentes en cuestión de calidad del servicio que prestan, que se traduce en cambios corporales en el menor tiempo posible y en sensación de mejoría de la salud física, lo cual que recae principalmente en manos de los instructores.

Por lo tanto, resulta de gran importancia que los instructores en turno tengan un amplio conocimiento en áreas como anatomía, fisiología, biomecánica, psicología, sociología y didáctica (Fister, Ljubič, Suganthan, Perc, & Fister, 2015), ya que generalmente sus labores básicas consisten en guiar a los usuarios en el manejo de la maquinaria, la correcta ejecución de los diferentes ejercicios, el cuidado de posturas y el manejo de cargas; pero la actividad principal y que se ha convertido en un factor clave para que los centros de acondicionamiento físico sobrevivan en un mercado donde la competencia se hace cada vez más intensa es la planificación de las sesiones de acondicionamiento físico.

Por lo anterior, y dado que no es lo mismo elaborar una sesión de acondicionamiento físico para un hombre de 17 años que desea aumentar su masa muscular y que no padece de ninguna enfermedad crónica, no ha sufrido ninguna lesión física y nunca ha realizado actividad física; que para una mujer de 35 años que tiene asma y desea bajar de peso; o para un hombre de 50 años que lleva 15 años realizando entrenamiento físico pero que se ha lesionado la muñeca derecha; planear una sesión de entrenamiento adecuada para cada usuario se ha convertido en una labor muy compleja, demorada y tediosa para los instructores, ya que además, la mayoría de ellos no cuenta con una herramienta confiable que les permita ser más eficientes realizando esta tarea.

Actualmente solo se tiene conocimiento de tres cadenas de gimnasios en Colombia en las cuales se utiliza algún tipo de aplicación como guía para la elaboración de los planes de acondicionamiento físico de modo personalizado, aunque estas realmente solo tienen en cuenta variables muy básicas de cada ser humano (edad, peso y estatura) y quizá el objetivo del individuo, sin embargo, se desconoce el funcionamiento del algoritmo y si su procedencia se basa en conocimiento científico del área específica. Así como estas, existen muchas aplicaciones a las cuales puede acceder cualquier usuario por medio de un teléfono inteligente, pero su utilización puede conllevar a lesiones graves de los usuarios pues no tienen en cuenta otras variables intrínsecas relevantes de cada ser humano.

Por lo tanto, esta y otras industrias demandan herramientas informáticas avanzadas capaces de procesar una gran cantidad de variables y datos cuyos resultados sirvan como soporte para la toma de decisiones de este ámbito. Es por ello por lo que la inteligencia computacional, una rama de la inteligencia artificial que comprende algoritmos inspirados en la naturaleza, se ha empleado recientemente para resolver problemas en las ciencias sociales y naturales debido a su eficiencia y simplicidad,

y ha demostrado que también son útiles dentro del ámbito del deporte, en particular para obtener planes de entrenamiento seguros y efectivos enfocándose en varios aspectos del rendimiento. (Fister, Ljubič, et al., 2015)

En esta rama de la inteligencia artificial se incluyen las redes neuronales artificiales (RNA) que se desarrollan a partir del diseño y la función de los sistemas neuronales de los organismos vivos. Numerosos estudios han demostrado que las RNA son un medio con una buena capacidad para predecir resultados deportivos, le permiten a un entrenador modelar el nivel futuro de rendimiento del atleta y también se utilizan ampliamente en el proceso de planificación de cargas de entrenamiento, ya que pueden proveer un análisis multidimensional de estas al crear un sistema que no solo se enfoca en el entrenamiento realizado, sino que también ayuda al entrenador a elegir las de forma adecuada en una etapa determinada del entrenamiento. (Przednowek, Iskra, Wiktorowicz, Krzeszowski, & Maszczyk, 2017)

Ahora bien, en el escenario seleccionado para llevar a cabo este trabajo, el centro de acondicionamiento físico “TOFIÑO’S GYM” ubicado en la ciudad de Buga, se evidencia la carencia de una herramienta informática que sirvan como soporte para que el instructor elabore los planes de acondicionamiento físico para sus usuarios de una forma más acertada, fiable y basada en datos, y que tengan en cuenta las características físicas de estos, su antropometría, estado físico actual, historial de lesiones, existencia de enfermedades crónicas, objetivos personales entre otras variables intrínsecas de cada ser humano y que son relevantes para diseñar cada plan y que este sea efectivo; y que también sea útil para llevar un seguimiento del avance de cada usuario respecto a las cargas físicas que deben manipular en las actividades del plan resultante.

Por otro lado, es importante mencionar que el centro de acondicionamiento cuenta solamente con tres instructores, de los cuales uno está capacitado profesionalmente y por el cual la mayor parte de los usuarios expresa preferencia para guiarlos en su proceso de acondicionamiento físico, lo cual le demanda ser altamente productivo y eficiente en el proceso de elaboración de los planes de acondicionamiento físico personalizados, evidenciándose la necesidad de una herramienta de esta índole en el escenario, ya que además esta situación conlleva a otro tipo de problemas como:

- Limitaciones en la atención a clientes en cuestión de tiempo y calidad, ya que el instructor mencionado no se encuentra presente todo el día y aunque los usuarios tengan a su disposición el lugar, la maquinaria y un instructor diferente, estos optan por regresar a sus casas o asistir a otro sitio.
- Sobrecarga laboral sobre el instructor profesional, ya que, al ser demandado por muchos clientes al mismo tiempo, esto no le permite llevar un seguimiento riguroso de cada usuario en cuanto a posturas y cargas físicas, así como de elaborar un plan personalizado para cada uno y recurrir al empirismo para

planear las rutinas diariamente o en cada ocasión que asista el usuario al centro de acondicionamiento.

Aunque los problemas anteriores se presentan con frecuencia en el escenario seleccionado, el eje central de la problemática gira entorno a la necesidad de una herramienta confiable desarrollada con bases teóricas sólidas del campo de las ciencias de la salud, que utilice datos pertinentes de los usuarios de los centros de acondicionamiento físico para ser más precisos al momento de elaborar los planes de entrenamiento, teniendo en cuenta las características relevantes de cada individuo para llevar a cabo este proceso al mismo tiempo que la perspectiva de este sea utilizada para mejorar dichos planes y se sienta satisfecho después de ejecutarlos.

Dada la gran aplicabilidad y universalidad de las redes neuronales artificiales y la situación del caso de estudio mencionado, surge la siguiente pregunta de investigación: **¿cómo diseñar un algoritmo que elabore los planes de acondicionamiento físico de modo personalizado para los usuarios del escenario seleccionado utilizando redes neuronales artificiales?**

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un algoritmo de redes neuronales artificiales que elabore los planes de entrenamiento personalizado para los usuarios de un centro de acondicionamiento físico de la ciudad de Guadalajara de Buga.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las variables de interés para el diseño de planes de acondicionamiento físico personalizados efectivos.
- Formular el algoritmo que utilice redes neuronales artificiales para la realización de planes de acondicionamiento físico personalizado.
- Validar los resultados que se obtengan del algoritmo.

ANTECEDENTES GENERALES

El análisis de antecedentes que se realiza en el presente trabajo se constituye por dos componentes, el primero con cuatro referencias de aplicaciones de distintos tipos de algoritmos de inteligencia computacional en el ámbito del deporte, y el segundo con dos referencias de algoritmos de redes neuronales artificiales aplicadas exitosamente en distintos deportes.

INTELIGENCIA COMPUTACIONAL APLICADA EN LOS DEPORTES

En 2015, Istok Fister Jr., en su artículo *“Computational intelligence in sports: Challenges and opportunities within a new research domain”* hace una revisión bibliográfica con el objetivo de demostrar que los algoritmos inspirados en la naturaleza y la minería de datos también son útiles en el ámbito del deporte, en particular para obtener planes de entrenamiento físico seguros y eficaces. Los resultados de sus análisis muestran la necesidad de desarrollar un entrenador deportivo artificial que sea capaz de analizar la gran cantidad de datos producidos por dispositivos móviles de seguimiento durante las sesiones de entrenamiento. Más allá de esto, menciona la diversidad de posibilidades en este ámbito donde podrían aplicarse los algoritmos de inteligencia computacional, alentando a la comunidad educativa a realizar investigaciones en este dominio.

En el mismo año, Istok Fister, en su estudio *“Planning the sports training sessions with the bat algorithm”* presenta un método novedoso de planificación inteligente para las sesiones de entrenamiento deportivo, donde los planes de entrenamiento se generan en computadoras utilizando inteligencia de enjambre y el algoritmo murciélago, de acuerdo con datos confiables obtenidos de los relojes deportivos; y con experimentos realizados a un ciclista aficionado durante más de cuatro años, cuyos resultados mostraron que el algoritmo es capaz de crear planes para sesiones de entrenamiento deportivo de calidad similar a la de los entrenadores. Se concluye que, usando este algoritmo, los entrenadores pueden automatizar su trabajo manual al prescribir los planes de entrenamiento para un atleta en específico todos los días.

Por otro lado, en 2018, Robson Bonidia, en su artículo *“Computational Intelligence in Sports: A Systematic Literature Review”*, presenta una revisión de literatura sistemática de la minería de datos de deportes, en la cual se encontraron 31 tipos de investigación sobre este tema entre los años 2010 y 2018, otorgando un panorama actual de este, los diversos temas, las bases de datos, las propuestas y los algoritmos utilizados y las oportunidades de investigación. Sus hallazgos proporcionan una mejor comprensión del potencial de la minería de datos en deportes, además de motivar a la comunidad científica a explorar este tema oportuno e interesante.

En el mismo año, Nattapon Kumyaito, en su estudio *“Planning a sports training program using Adaptive Particle Swarm Optimization with emphasis on physiological constraints”*, cuyos objetivos fueron crear un plan de entrenamiento de ciclismo práctico que mejorara sustancialmente el rendimiento deportivo al tiempo que satisface las limitaciones fisiológicas esenciales. Se utilizó la optimización adaptativa de enjambre de partículas para formular dicho plan y simular los resultados de rendimiento probables. Se concluyó que, con respecto a un estándar de entrenamiento de ciclismo británico, el plan arrojado por el algoritmo fue superior en términos de rendimiento deportivo y de satisfacción de todas las restricciones fisiológicas.

Los artículos anteriores son de gran utilidad para la identificación de las variables del algoritmo y proporcionan diversas referencias bibliográficas que servirán como apoyo para otras actividades del diseño de la herramienta, como la formulación de restricciones y la determinación de parámetros del algoritmo.

REDES NEURONALES ARTIFICIALES APLICADAS EN LOS DEPORTES

En 2011, Mark Pfeiffer, en su artículo *“Applications of neural networks in training science”*, con el objetivo de dar ejemplos de varios deportes en los que los enfoques de redes neuronales se pueden utilizar eficazmente en la ciencia del entrenamiento, en uno de sus ejemplos muestra cómo se puede usar una red neuronal artificial para predecir el rendimiento competitivo en la natación, demostrando que las redes neuronales son muy adecuadas para modelar y predecir este rendimiento basándose en datos de entrenamiento.

En 2017, Krzysztof Przednowek, en su artículo *“Planning Training Loads for The 400 M Hurdles in Three-Month Mesocycles Using Artificial Neural Networks”*, se presenta un enfoque novedoso en la planificación cargas de entrenamiento en carreras de obstáculos usando modelos de redes neuronales artificiales, los cuales realizaron la tarea de generar cargas de entrenamiento de deportistas en carreras de 400 metros con vallas, sobre la base de los datos de entrenamiento de 21 deportistas de la selección polaca, compitiendo entre 1989 y 2012. En los modelos, se utilizaron 29 variables, cuatro caracterizaron al corredor y 25 describieron el proceso de entrenamiento. El modelo resultante se puede utilizar como herramienta para ayudar a un entrenador a planificar las cargas de acondicionamiento durante un período seleccionado.

Ambos artículos proporcionan material bibliográfico útil y pertinente para el desarrollo de redes neuronales artificiales, las cuales serán la base del funcionamiento del algoritmo.

CAPÍTULO 1: DETERMINACIÓN DE VARIABLES DE INTERÉS PARA EL DISEÑO DE PLANES DE ACONDICIONAMIENTO FÍSICO PERSONALIZADOS

El objetivo de este capítulo es determinar las variables de entrada para el algoritmo de redes neuronales artificiales, correspondiente a todas las características del individuo que, según el grupo de expertos, la bibliografía recomendada y consultada, deben tenerse en cuenta para elaborar adecuadamente un plan de acondicionamiento físico personalizado.

1.1. METODOLOGÍA

En la **Tabla 1** se describe la metodología utilizada para el desarrollo del capítulo 1.

Tabla 1. Metodología del capítulo 1.

No.	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN Y HERRAMIENTAS
1	Conformación de grupo de expertos	Dado que este es un trabajo que tiene un componente proveniente de las ciencias de la salud y la biología, se optó por conformar un grupo de expertos quienes son parte de la población para la cual va dirigido el resultado final del proyecto y constituyen un pilar fundamental en cada etapa para el diseño del algoritmo, especialmente para su validación. Los expertos fueron seleccionados con base en su nivel de escolaridad y en su experticia en la industria del Fitness. El grupo estuvo conformado por 10 Profesionales en Educación Básica con Énfasis en Educación Física, Recreación y Deportes, que tienen entre 5 y 15 años laborando como instructores en centros de acondicionamiento físico en la ciudad de Buga, Tuluá, y Armenia. Algunos cuentan con certificaciones en valoración fisiológica, antropometría y en diseños de planes de entrenamiento, guías de nutrición y suplementación.
2	Revisión bibliográfica	Con la colaboración del grupo de expertos, se realizó la revisión bibliográfica con el cual se fundamentan las variables que se tienen en cuenta para elaborar los planes de acondicionamiento físico de forma personalizada, así como el método para extraer la información pertinente de cada individuo y seleccionar y estructurar los ejercicios físicos para cumplir con sus necesidades y expectativas.
3	Descripción del método de elaboración de planes de acondicionamiento físico.	Se describe el método que utilizan los expertos para estructurar los planes de acondicionamiento físico personalizado.
4	Selección de variables por método Delphi.	Analizando el método para estructurar los planes de acondicionamiento físico y la bibliografía consultada, se elaboró un listado de variables inicial donde cada experto realizó su aporte. Al final, cada experto seleccionó las variables que consideró relevantes y pertinentes para una herramienta de este tipo, descartando variables hasta llegar a un consenso por votación unánime. Posteriormente se construyen dos tablas con la descripción de las variables.
5	Elaboración de formulario de variables	Con base en las variables seleccionadas, se elaboró un formulario con el cual se recolectarán los datos pertinentes en el siguiente capítulo.

Fuente: Elaboración propia.

1.2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA: CRITERIOS Y VARIABLES PARA LA SELECCIÓN DE EJERCICIOS

En esta primera etapa es crucial conocer las características intrínsecas de cada persona que exige a los instructores en los centros de acondicionamiento físico tener un amplio conocimiento en esta rama de las ciencias de la salud, para ejecutar correctamente la tarea de estructurar la rutina de entrenamiento de cada usuario, la cual básicamente es un conjunto de ejercicios y esfuerzo físicos repetitivos con los cuales se busca, generalmente, el acondicionamiento físico y la hipertrofia muscular. La selección de estos ejercicios debe ser cuidadosa y debe realizarse con base en una serie de variables y criterios para evitar daños y deterioro de la salud del usuario que van desde lesiones musculares y articulares hasta un paro cardiorrespiratorio.

En este apartado se encuentra condensada la base teórica del grupo de expertos con artículos y revisiones bibliográficas con los que han diseñado y desarrollado sus planes de acondicionamiento físico en diferentes escenarios con una amplia y heterogénea población en términos de condiciones fisiológicas y biológicas, a lo largo de su experiencia como instructores.

En primera instancia se encuentran los autores (Ramón et al., 2014) con un artículo donde se presenta una propuesta con la que se identifican criterios y variables propias para la selección de ejercicios que ayudan a discriminarlos y agruparlos, la cual es una tarea fundamental para la prescripción de cualquier programa de entrenamiento neuromuscular orientado a la mejora o mantenimiento de la salud, realizando también un análisis e integración multivariable para representar este proceso mediante un algoritmo. Este artículo es una base teórica de los expertos en el cual se sintetizan los criterios pertinentes para seleccionar y estructurar los ejercicios que serán parte del plan de acondicionamiento físico de cualquier individuo.

Además, (Dávila, 2015) con una amplia revisión bibliográfica, resume los fundamentos teóricos para realizar la prescripción de los ejercicios físicos con un enfoque de salud destinado a la población en general, teniendo en cuenta las necesidades del individuo, el estado de salud, el tiempo del que dispone, antecedentes de prácticas deportivas o de actividad física y las instalaciones disponibles. En este artículo se explican las características de cada individuo que se deben tener en cuenta para seleccionar y elaborar un plan de acondicionamiento físico, exponiendo también el método para extraer la información del individuo y realizar la correcta prescripción de los ejercicios físicos.

Por otro lado están los autores (Weineck & Derrickson, 2015) grandes referencias de anatomía y fisiología deportiva, con un artículo donde se realiza un análisis de acciones de grupos musculares y ejercicios aplicados al entrenamiento de fuerza. Constituye una base para la toma de decisiones en la selección de ejercicios

teniendo en cuenta las lesiones que se pueden presentar a nivel muscular y articular durante la actividad física y cómo debe estructurarse el plan de acondicionamiento físico según el historial de lesiones del individuo.

Por último, los autores (Nicolaus, Christine, & Klaus, 2015) realizan una amplia revisión de la bibliografía deportiva, en la cual se recopilan los principios biológicos y pedagógicos del entrenamiento deportivo y la adaptación orgánica del deportista. Estos principios de entrenamiento son orientaciones y directrices generales para las tareas y acciones educativas, de asesoramiento y metodológicas que los educadores e instructores aplican en el proceso de entrenamiento y en la dirección de las competencias.

Los principios de entrenamiento que forman parte de la fundamentación teórica de las ciencias biológicas más importantes para el grupo de expertos al momento de desarrollar los planes de acondicionamiento físico personalizado son:

- 1) PRINCIPIO DE LA UNIDAD FUNCIONAL:** El individuo debe ser considerado como un todo. Cada uno de los órganos y sistemas biológicos (circulatorio, respiratorio, endocrino, de alimentación, de movimiento, etc.), están interrelacionados uno con el otro, hasta el punto de que el fallo de cualquiera de ellos hace imposible la continuidad del entrenamiento y afecta a la persona en toda su globalidad. Las sesiones de entrenamiento igualmente deben ser diseñadas como un todo funcional, no improvisar cada día, sino estructurar un plan que, con el tiempo, pueda evaluarse en términos de efectividad y ajustarse según sea el caso.
- 2) PRINCIPIO DE LA MULTILATERALIDAD:** El entrenamiento debe buscar el desarrollo equilibrado y simultáneo de todas las cualidades físicas para incidir posteriormente en las cualidades propias de la especialidad (fuerza, resistencia, velocidad, flexibilidad, coordinación y equilibrio). El acondicionamiento moderno trata de abarcar simultáneamente todas estas cualidades, pues está demostrado que, con una preparación multifacética, se consiguen mejores resultados, donde el deportista que domina una mayor cantidad de movimientos, tiene mayor dominio de sus conductas motrices y está en disposición de asimilar las técnicas y los métodos de entrenamiento más complicados.
- 3) PRINCIPIO DE LA ESPECIFICIDAD:** Luego de sentar las bases del entrenamiento a través del desarrollo de las cualidades físicas básicas, se deben desarrollar unas condiciones específicas de acuerdo con las características particulares que encierra cada deporte. Un saltador y un jugador de baloncesto necesitarán gran velocidad, gran potencia de tren inferior que les permita una buena capacidad de salto, excelente coordinación, etc.; pero el dominio técnico de sus diferentes especialidades ha de conseguirlo cada uno de ellos por caminos muy distintos y a través de ejercicios puramente específicos.

- 4) **PRINCIPIO DE LA SOBRECARGA:** Este principio hace referencia a un esfuerzo físico específico para estimular la respuesta de adaptación deseada sin producir agotamiento o esfuerzo indebido. Para que se pueda producir un proceso de adaptación a la carga de trabajo utilizada se debe superar un umbral de esfuerzo que es de diferente magnitud para cada sujeto.
- 5) **PRINCIPIO DE LA SUPERCOMPENSACIÓN (LEY DE WEIGNER):** El entrenamiento tiene como consecuencia un estado de fatiga, catabolismo, que requiere de una adecuada recuperación para poder aplicar más estímulos de entrenamiento. De esta forma, los periodos de entrenamiento y recuperación se relacionan y planifican dando lugar a un fenómeno biológico que es la supercompensación. Después de una carga de entrenamiento y tras una recuperación adecuada, el organismo no solo restaura su nivel inicial, sino que establece un nivel superior al que tenía antes. Mediante este tipo de adaptación, el organismo cada vez es capaz de soportar estímulos mayores y aumentar su rendimiento. La periodización entre la aplicación de los estímulos de entrenamiento y las recuperaciones es específica de cada persona y deporte.
- 6) **PRINCIPIO DE LA CONTINUIDAD:** Las cargas continuas producen un incremento continuo de la capacidad de rendimiento deportivo, hasta alcanzar el límite del rendimiento individual, determinado genéticamente. De esta manera, realizar un entrenamiento sin interrupciones será fundamental. Debe haber continuidad de una carga con respecto al tiempo, tanto para el acondicionamiento general como específico. La experiencia y la fisiología del ejercicio han demostrado que todo esfuerzo que se interrumpe por un período prolongado, o es realizado sin continuidad, ni crea un hábito ni entrena. Es decir, no se produce una mejora funcional al no haber adaptación.
- 7) **PRINCIPIO DE LA PROGRESIÓN:** Llamado también “*Principio de la Gradualidad*”, indica que el aumento de la carga debe hacerse de forma gradual. La progresión de la carga de entrenamiento debe ajustarse a las mejoras que progresivamente se van alcanzando en el rendimiento del individuo. Una vez que un determinado estímulo es aplicado un número suficiente de veces, el organismo se adapta a él y se hace necesario modificarlo, cumpliendo el objetivo básico del entrenamiento: la mejora progresiva de las posibilidades de rendimiento.
- 8) **PRINCIPIO DE LA INDIVIDUALIDAD:** Este principio está determinado por las características morfológicas y funcionales de los deportistas. Cada sujeto es un todo con características completamente distintas, desde el punto de vista antropométrico, funcional, motor, psicológico, de adaptación, etc. La capacidad de reacción del organismo es distinta en cada atleta, independiente de los estados de forma, las modificaciones del gesto deportivo, y las transformaciones normales, por ejemplo, durante el proceso de entrenamiento y que ejercen una

influencia distinta en cada deportista. Factores de herencia (el tamaño del corazón, tipo de fibras, somatotipo), los procesos de recuperación (entrenamiento invisible), nutrición, nivel de aptitud física, motivación (capacidad agonística), influencias ambientales, historia; deben ser tenidas en cuenta a la hora de plantear un programa en cada deportista.

Para la obtención de resultados positivos, una condición fundamental es la dosificación individualizada del esfuerzo sobre la base de una atenta vigilancia del comportamiento del organismo.

9) PRINCIPIO DE LOS RETORNOS EN DISMINUCIÓN: Este principio indica cómo se viene desarrollando la capacidad de rendimiento de un deportista a lo largo de un proceso de trabajo de media o larga duración. En cualquier modalidad deportiva, el progreso es muy veloz y patente al comienzo de la vida deportiva de una persona, disminuyendo posteriormente la velocidad de mejora de rendimiento, similar al concepto de la curva de aprendizaje.

10) PRINCIPIO DE LA RECUPERACIÓN: Indica que las personas necesitan un periodo de descanso entre estímulos para darle tiempo al cuerpo de recuperar el equilibrio, que los músculos descansen, adaptarse y obtener los máximos beneficios posibles del entrenamiento físico. El esfuerzo alternado con la recuperación y el descanso se aplica a todo entrenamiento, sin tener en cuenta los métodos de trabajo que se empleen.

1.3. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE ELABORACIÓN DEL PLAN DE ACONDICIONAMIENTO FÍSICO PERSONALIZADO

A través de entrevistas realizadas al grupo de expertos, se obtuvo la siguiente información con la cual se describe el proceso de elaborar un plan de acondicionamiento físico personalizado:

- Se realiza una entrevista inicial con el usuario en donde se le hacen preguntas para recolectar información básica: edad, género, estatura y peso corporal.
- Se solicita información sobre sus hábitos de actividad física por medio de las siguientes preguntas: ¿ha realizado actividad física alguna vez? Si es así y ha dejado de hacerlo por un tiempo ¿hace cuánto tiempo dejó de hacerlo y cuántas veces por semana lo hacía? Si simplemente cambió de centro de acondicionamiento físico, es decir, no ha dejado de hacer actividad física, solo se solicita la cantidad de días en la semana que realizaba actividad física y el tiempo que lleva haciéndola.
- Se toman las respectivas medidas antropométricas con una cinta métrica para determinar la composición corporal (Ramírez, 2014), procedimiento realizado

bajo el protocolo de la *International Society for the Advancement of Kinanthropometry (ISAK)*. Consiste en realizar una serie de medidas controladas que se puedan repetir en el tiempo para que el experto pueda comparar y analizar los resultados de sus rutinas de entrenamiento. Las medidas que se registran de manera estimada son:

- ✓ **Medición de la masa muscular:** mediante los perímetros musculares establecidos.
 - ✓ **Medición de la masa ósea:** mediante los diámetros óseos.
 - ✓ **Medición de la masa grasa:** mediante los pliegues cutáneos.
- Los datos anteriores son ingresados a una Somatocarta programada en Excel, con la cual se obtiene el somatotipo del individuo (un sistema cuantitativo de clasificación de la forma y composición corporal a través de tres variables: grasa, músculo y linealidad) y su porcentaje de grasa corporal (medida de la composición del cuerpo para verificar el progreso del individuo).
 - Adicionalmente se pregunta al individuo si posee alguna enfermedad transmisible o adquirida: hipertensión, diabetes y problemas de colesterol. Igualmente, si posee alguna patología o enfermedad distinta a las mencionadas.
 - Además, es importante saber si en algún momento de su vida, el individuo ha sufrido alguna lesión a nivel muscular o articular.
 - Para finalizar la entrevista, se pregunta por el horario de entreno de preferencia del individuo.
 - Finalizada la entrevista, el instructor aplica la ley de 3 preguntas (Dávila, 2015), el cuál es un método para identificar con claridad los objetivos de una rutina de entrenamiento para cualquier individuo. Estas preguntas fundamentales son:
 - ✓ **¿Qué necesita realmente el individuo?:** Fundamentalmente con respecto a su estado de salud actual, donde se plantea el objetivo específico del entrenamiento correspondiente a lo que necesita realmente el individuo más no lo que desea, lo cual se aborda en la segunda fase o pregunta que corresponde a objetivos secundarios (estéticos o de habilidad deportiva). Con base en esta respuesta se plantea la mejor dosis de ejercicio para atender los objetivos de salud del individuo.
 - ✓ **¿Qué necesita este individuo para poder asimilar correctamente esa dosis óptima de ejercicio?:** Con base en esta pregunta comienza el diseño de la rutina de ejercicios teniendo en cuenta objetivos prioritarios de

entrenamiento del individuo (segundarios), para que este paulatinamente se adapte a las dosis de ejercicios planeadas.

- ✓ **¿Qué contenidos se van a seleccionar para dar respuesta a esas necesidades específicas para determinada dosis de ejercicio?:** Se define con claridad como se alcanzarán los objetivos prioritarios del individuo con base en condicionantes personal, espaciales y temporales.
- Con base en las respuestas anteriores y la información de la entrevista se procede a estructurar la rutina de entrenamiento, en la cual se prescriben los ejercicios que cada día realizará el individuo. Se planean estas rutinas para una semana, de lunes a viernes, donde cada día se describe un listado de ejercicios donde generalmente se habla de repeticiones (cantidad de veces que se debe realizar un movimiento con una parte del cuerpo determinada) y series (cantidad de veces que debe realizar las repeticiones) para cada ejercicio relacionado en la prescripción del instructor.

Cabe mencionar que el proceso descrito es la manera correcta de diseñar un plan de acondicionamiento físico, pero dadas las condiciones del escenario seleccionado mencionadas en el planteamiento del problema, para los instructores es complejo mantener la rigurosidad del proceso para satisfacer las necesidades de los usuarios, por lo cual se realizan preguntas básicas con respecto al nivel de sedentarismo, edad, peso corporal, lesiones y enfermedades transmisibles; con base en ello inmediatamente el instructor sin realizar un análisis tan exhaustivo, comienza a prescribir ejercicios recurriendo a su experiencia pero cayendo en el empirismo. En la **Tabla 10** de la **Sección 2.5.3** se muestra un ejemplo de rutina de ejercicios de un día para ilustrar al lector su estructura, la cual fue determinada en el capítulo dos para facilitar la recolección de datos.

1.4. SELECCIÓN DE VARIABLES DE INTERÉS

Por medio de la descripción del proceso de elaborar un plan de acondicionamiento físico el equipo de trabajo extrajo un listado de las características y condiciones de cada individuo que son relevantes para que los instructores puedan diseñar y desarrollar adecuadamente la rutina de entrenamiento. Posteriormente, cada experto revisó el listado y algunos de ellos agregaron más variables (características y enfermedades) que, desde su punto de vista, son pertinentes para llevar a cabo el proceso mencionado.

Para la selección final de las variables se empleó el método Delphi del mismo modo que lo aplicó (Cabero Almenara, 2013) en un estudio donde se llevó a cabo la aplicación de este método para formar los bloques de contenidos que deberían tener una futura acción formativa del profesorado la Universidad de Sevilla en TIC. Una vez completado el listado con los aportes de cada experto, este se le entregó a cada

uno por separado para que seleccionara las más pertinentes bajo su criterio, teniendo en cuenta que la herramienta resultante utilizará dicha información para poder elaborar automáticamente las rutinas de ejercicios. Dado que se dispuso de 10 expertos, las variables con 6 votos o más fueron seleccionadas para una siguiente ronda, donde se construyó un nuevo listado solamente con estas variables y se realizó el mismo procedimiento, en el cual todas las variables obtuvieron por lo menos 9 votos. Cabe aclarar que las variables se descartaron luego de tener una reunión y discutir si realmente se deberían descartar o no.

Patologías o condiciones de salud diferentes a las seleccionadas no forman parte del conjunto de variables debido a que, según el grupo de expertos, son condiciones muy poco comunes o que deben llevar un acompañamiento más riguroso por parte del instructor. Cabe mencionar que lo ideal es que la herramienta resultante del presente trabajo, permita formular los planes de acondicionamiento físico de forma automática y realizar un acompañamiento más pedagógico, donde el usuario sea más autónomo durante su estancia en el centro de acondicionamiento físico y el instructor resuelva dudas sobre la ejecución de los ejercicios y el nivel de cargas físicas a manejar durante los entrenamientos.

En la **Tabla 2** se describen las variables seleccionadas explicando la pertinencia de cada una, la fuente bibliográfica que soporta su selección, así como los principios de entrenamiento asociados a la mismas, ya que estos son considerados la piedra angular del entrenamiento deportivo. En la **Tabla 3** se describen las variables, pero en términos matemáticos explicando las unidades y los valores que pueden tomar dichas variables. Cabe aclarar que, en la herramienta resultante, estas variables corresponden a los datos de entrada del algoritmo. El instructor deberá obtener esta información de su cliente o usuario del centro de acondicionamiento físico para ingresarla al algoritmo y que este le arroje la rutina de ejercicios de una semana pertinente para el individuo.

1.5. ELABORACIÓN DEL FORMULARIO DE VARIABLES

En el **Anexo 1** se puede apreciar el formulario construido con base en las variables seleccionadas por el equipo de trabajo y el grupo de expertos para recolectar la información requerida adecuadamente en el capítulo dos para el desarrollo y funcionamiento del algoritmo de redes neuronales. En el **Anexo 2** se encuentra un formulario diligenciado a manera de ilustración.

En este formulario se encuentran elementos adicionales como instrucciones de diligenciamiento, texto informativo del proyecto, nombre del individuo y una sección para firmar; todo con el fin de motivar a la población seleccionada en el capítulo dos para dar continuidad con el proceso de recolección de datos, el cual se explica en el siguiente apartado; y generar compromiso de su parte, pues la siguiente etapa y los datos que se recolectaron fueron cruciales para el éxito del proyecto. A partir de este momento este formulario será nombrado como “*Formato de Inscripción*”.

Tabla 2. Descripción de variables.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	PRINCIPIO DE ENTRENAMIENTO	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA
EDAD	A cada etapa del crecimiento corresponden características biológicas que deben ser respetadas, por lo cual la actividad física se debe adaptar a la edad del individuo, no someterlo a esfuerzos superiores a su capacidad, sea por su frecuencia, duración o intensidad. Las capacidades de un niño son muy diferentes a las de un adulto mayor.	INDIVIDUALIDAD MULTILATERALIDAD	(Dávila, 2015) (Nicolaus, Christine, & Klaus, 2015)
SEXO	Existen diferencias morfofisiológicas entre hombres y mujeres que se deben tener en cuenta al momento de la prescripción de los ejercicios.	INDIVIDUALIDAD SUPERCOMPENSACIÓN PROGRESIÓN RETORNOS EN DISMINUCIÓN	(Dávila, 2015) (Nicolaus, Christine, & Klaus, 2015)
PORCENTAJE DE GRASA CORPORAL	El dato más acertado para medir si una persona está entrenando de manera óptima y saludable, pues respeta la composición del cuerpo y, a pesar de que también se basa en rangos, se le considera como una medición que retrata si realmente hay progreso o no. Esta variable es calculada por el instructor de turno en una somato carta programada en Excel, la cual requiere datos de peso corporal, estatura, nivel de estado físico y medidas antropométricas.	UNIDAD FUNCIONAL	(Dávila, 2015) (Nicolaus, Christine, & Klaus, 2015)
NIVEL DE ESTADO FÍSICO	Para medir el nivel de estado físico de una persona es necesario saber si la persona realiza actividad física constantemente y la cantidad de días a la semana que lo hace, o si, por el contrario, nunca ha realizado actividad física. También puede presentarse el caso de que la persona realizaba actividad física, pero cesó por un tiempo, de ser así se necesita conocer cuánto tiempo lleva sin realizar actividad física y cuántas veces por semana lo hacía. Con esta información se determina el nivel sedentarismo y la dosis de ejercicio físico a la que está adaptado el individuo a recibir, lo cual es vital para diseñar o rediseñar la estructura de su plan de acondicionamiento físico y dar continuidad a sus hábitos de actividad física en pro de su salud.	CONTINUIDAD PROGRESIÓN RECUPERACIÓN	(Dávila, 2015) (Nicolaus, Christine, & Klaus, 2015)
ENFERMEDADES TRANSMISIBLES O ADQUIRIDAS	Principales enfermedades que limitan el diseño del plan de acondicionamiento físico, pues dadas las condiciones particulares de cada enfermedad, el individuo no podrá realizar ejercicios isométricos entre otros que pondrán en riesgo la salud de este. El individuo puede presentar una o varias de estas condiciones.	SOBREGARCA	(Dávila, 2015) (Nicolaus, Christine, & Klaus, 2015)
HISTORIAL DE LESIONES ARTICULARES	Principales lesiones a nivel articular que puede presentar el individuo en algún momento de su vida. Este historial debe tenerse en cuenta para prescribir correctamente los ejercicios en el área o áreas afectadas, aun cuando el individuo se haya recuperado de esta. El individuo puede presentar una o varias de estas lesiones.	ESPECIFICIDAD	(Ramón et al., 2014) (Dávila, 2015) (Weineck & Derrickson, 2015) (Nicolaus, Christine, & Klaus, 2015)
HISTORIAL DE LESIONES MUSCULARES.	Principales lesiones a nivel muscular que puede presentar el individuo en algún momento de su vida. Este historial debe tenerse en cuenta para prescribir correctamente los ejercicios en el área o áreas afectadas, aun cuando el individuo se haya recuperado de esta. El individuo puede presentar una o varias de estas lesiones.	ESPECIFICIDAD	(Ramón et al., 2014) (Dávila, 2015) (Weineck & Derrickson, 2015) (Nicolaus, Christine, & Klaus, 2015)
HORARIO DE ENTRENAMIENTO	Los hábitos de alimentación influyen en el rendimiento durante la sesión de entrenamiento y estos se encuentran ligados a los horarios de entrenamiento, los cuales deben ser constantes para planificar adecuadamente las rutinas de ejercicios.	SUPERCOMPENSACIÓN RECUPERACIÓN CONTINUIDAD	(Dávila, 2015) (Nicolaus, Christine, & Klaus, 2015)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Descripción matemática de variables.

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	UNIDADES Y VALORES
EDAD	CUANTITATIVA DISCRETA	Esta variable toma valores discretos dados en años. Puede tomar valores de 14 en adelante, pues según los expertos y las referencias bibliográficas, una persona puede comenzar a realizar entrenamiento de pesas, a partir de los 14 años.
SEXO	CUALITATIVA NOMINAL	Esta variable es binaria, ya que entre los seres humanos biológicamente existen dos sexos. Puede tomar el valor masculino (M) o el valor femenino (F).
PORCENTAJE DE GRASA CORPORAL	CUANTITATIVA CONTINUA	Esta variable toma valores continuos dados en porcentaje. El valor mínimo es de 0% y máximo de 100%, sin embargo, en los seres humanos, solo sería posible obtener entre un 6% y un 50% de grasa corporal.
NIVEL DE ESTADO FÍSICO	CUALITATIVA NOMINAL	Esta variable está compuesta por un componente cualitativo nominal, ya que se pueden presentar tres escenarios de los cuales el individuo escoge uno de acuerdo con su condición: Opción 1: Nunca ha realizado actividad física. Opción 2: Ha realizado actividad física, pero dejó de hacerlo por un tiempo. Opción 3: Realiza actividad física constantemente pero solo ha decidido cambiar de centro de acondicionamiento físico.
	CUANTITATIVA DISCRETA	Las opciones 2 y 3 presentan un componente cuantitativo discreto dado en días. Si el individuo escoge la opción 2, debe indicar el número de días aproximado que dejó de realizar actividad física y cuántos días realizó actividad física. Estos componentes pueden tomar valores discretos de 1 en adelante. Igualmente, debe indicar el número de días a la semana que realizaba actividad física. Este componente puede tomar valores discretos de 1 a 7. Si el individuo escoge la opción 3, debe indicar el número de días aproximado que lleva realizando actividad física. Este componente puede tomar valores discretos de 1 en adelante. Igualmente, debe indicar el número de días a la semana que realiza actividad física. Este componente puede tomar valores discretos de 1 a 7.
ENFERMEDADES TRANSMISIBLES O ADQUIRIDAS	CUALITATIVA NOMINAL	Esta variable puede tomar 3 valores que corresponden a las enfermedades adquiridas más comunes y que, por consenso del grupo de expertos, formaron parte del algoritmo, pues el fin de la herramienta es crear rutinas de ejercicios que los usuarios puedan ejecutar con autonomía y una leve supervisión del instructor. El individuo también puede presentar simultáneamente 2 o 3 enfermedades. Estas enfermedades fueron: Opción 1: Hipertensión. Opción 2: Diabetes. Opción 3: Colesterol.
HISTORIAL DE LESIONES ARTICULARES	CUALITATIVA NOMINAL	Esta variable puede tomar 8 valores que corresponden a las lesiones articulares más comunes que puede presentar al momento de iniciar el entrenamiento o haber sufrido a lo largo de su vida un individuo. Puede presentar una o varias lesiones simultáneamente. Las lesiones que se pueden presentar a nivel articular son: Opción 1: Hombro. Opción 2: Codo. Opción 3: Muñeca. Opción 4: Clavícula. Opción 5: Cadera. Opción 6: Rodilla. Opción 7: Tobillo. Opción 8: Columna.
HISTORIAL DE LESIONES MUSCULARES.	CUALITATIVA NOMINAL	Esta variable puede tomar 14 valores que corresponden a las lesiones de grupos musculares más comunes que puede presentar al momento de iniciar el entrenamiento o haber sufrido a lo largo de su vida un individuo. Puede presentar una o varias lesiones simultáneamente. Las lesiones que se pueden presentar a nivel muscular son: Opción 1: Trapecio. Opción 2: Deltoides. Opción 3: Tríceps. Opción 4: Bíceps. Opción 5: Antebrazo. Opción 6: Pectoral. Opción 7: Abdominal. Opción 8: Dorsal. Opción 9: Lumbar. Opción 10: Glúteo. Opción 11: Cuádriceps. Opción 12: Isquiosurales. Opción 13: Gastrocnemios. Opción 14: Tibiales.
HORARIO DE ENTRENAMIENTO	CUALITATIVA ORDINAL	Esta variable está compuesta por 3 opciones, según los horarios típicos de un centro de acondicionamiento físico y del escenario seleccionado: Opción 1: Mañana (5:00 a.m. – 12:00 m.). Opción 2: Tarde (12:00 m. – 6:00 p.m.). Opción 3: Noche (6:00 p.m. – 10:00 p.m.).

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 2: FORMULACIÓN DEL ALGORITMO DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES

El objetivo de este capítulo es formular el algoritmo de redes neuronales artificiales para la elaboración de los planes de acondicionamiento físico personalizado, utilizando como datos de entrada las variables seleccionadas en el capítulo anterior, recolectando los datos necesarios para su funcionamiento y programándolo en el pseudocódigo de Python. El resultado final de este capítulo es un algoritmo de redes neuronales artificiales de tipo recurrente programado en Python, capaz de generar nuevos planes de acondicionamiento físico utilizando la base de datos recolectada.

2.1. METODOLOGÍA

En la **Tabla 4** se describe la metodología utilizada para el desarrollo del capítulo 2.

Tabla 4. Metodología del capítulo 2.

No.	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN Y HERRAMIENTAS
1	Revisión bibliográfica de redes neuronales artificiales.	Además de los antecedentes generales, se realizó una revisión bibliográfica sobre fundamentos de redes neuronales artificiales, su funcionamiento y ejemplos de aplicaciones en general para facilitar su comprensión.
2	Revisión bibliográfica de programación de redes neuronales en Python.	El algoritmo de redes neuronales se programó en Python dada su universalidad especialmente en el campo de la inteligencia artificial, además de ser sugerido por el director del presente trabajo. Para ello se realizó una breve revisión bibliográfica para facilitar el aprendizaje del pseudocódigo para programar el algoritmo.
3	Definición de parámetros y valores objetivos.	Se determinaron los parámetros con base en la estructura de los planes de acondicionamiento físico personalizados, así como parámetros adicionales necesarios para la construcción de la base de datos del algoritmo y que este pueda realizar su proceso de aprendizaje. Se definieron las escalas de valores para calificar los planes de acondicionamiento generados y los valores objetivos dentro de estas escalas necesarios para el proceso de aprendizaje.
4	Preparación de formatos, selección de individuos y recolección de datos.	Se elaboró un segundo formato para la recolección de datos de las calificaciones de los planes de acondicionamiento físico diseñados. Se seleccionó una población objetivo para recolectar los datos de variables con el formato de inscripción y de parámetros para la base de datos con el formato de recolección de datos.
5	Construcción y programación del algoritmo en Python.	Una vez recolectados los datos de la población objetivo, se construyó la estructura del algoritmo y programó en el pseudocódigo de Python alimentándolo con los datos obtenidos.

Fuente: Elaboración propia.

2.2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA: REDES NEURONALES Y PROGRAMACIÓN EN PYTHON

Esta sección está compuesta de dos apartados, el primero describe brevemente las referencias bibliográficas que realmente fueron de gran ayuda para comprender el funcionamiento de las redes neuronales artificiales y seleccionar el tipo de red neuronal más apropiado para el presente trabajo. En el segundo, se redactó un resumen teórico extrayendo información de las referencias bibliográficas con una explicación sencilla de la teoría que compone este tipo de inteligencia artificial y facilitar la comprensión del lector del vocabulario que se emplea en las siguientes secciones.

2.1.1. Referencias bibliográficas

En primera lugar, se tiene el libro *“Make your own neural network”* (Rashid, 2016) utilizado como una guía sencilla para entender los conceptos básicos de las redes neuronales y como un primer paso para el aprendizaje del funcionamiento de la inteligencia artificial con unas pocas líneas de código. En esta guía explica la teoría básica detrás de las redes neuronales artificiales y, paralelamente, se desarrolla un ejemplo de programación de una red neuronal en Python para el reconocimiento de números en imágenes. Este ejemplo fue desarrollado por el equipo de trabajo como primer acercamiento a la programación de redes neuronales artificiales y al pseudocódigo de Python.

En segundo lugar, está el artículo *“Predicción demanda eléctrica española. Implementación de redes neuronales recurrentes en Python”* (Cabezón, 2018), el cual es un proyecto de grado de maestría en Ingeniería Matemática cuyo objetivo es la predicción de la demanda eléctrica nacional mediante el desarrollo de modelos de redes neuronales recurrentes.

Por otro lado, se encuentra el artículo *“Modelos de redes neuronales recurrentes en clasificación de patentes”* (Guridi, 2017) cuyo trabajo se centra en la clasificación automática de patentes usando redes LSTM (Long-Short Term Memory), que son documentos que recogen y acotan la propiedad intelectual, compuestas principalmente por texto y múltiples etiquetas correspondientes a una clasificación jerárquica de varios niveles (IPC); y se describen distintos métodos de tratamiento y extracción de características de textos y de clasificación por aprendizaje automático: bolsas de palabras, los perceptrones, los perceptrones multicapa, los mapeos (embeddings), las redes neuronales recurrentes y redes recurrentes con neuronas LSTM.

Por último, el equipo de trabajo realizó un curso pago de inteligencia artificial con Python disponible Udemy.com, una plataforma de aprendizaje en línea dirigida a adultos profesionales con una amplia biblioteca en varios idiomas que incluye más de 65.000 cursos impartidos por instructores expertos; dictado por Juan Gabriel

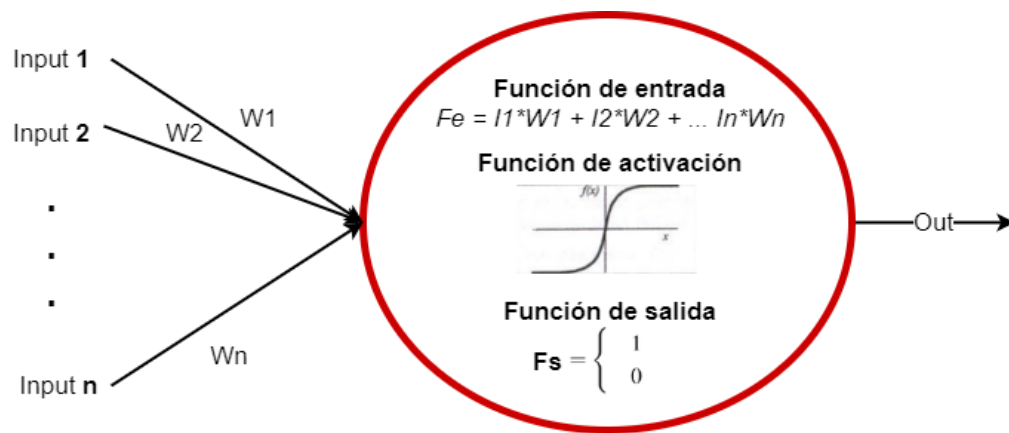
Gomila Salas, Licenciado en matemáticas, especializado en el análisis de datos para empresas de videojuegos con R y Python, en Game Design para videojuegos de social casino, en el desarrollo de aplicaciones móviles para iOS y para Android y desarrollador de videojuegos utilizando los motores Unreal Engine y Unity tanto para PC como para móvil desde el año 2011.

2.1.2. Resumen teórico para la comprensión de las redes neuronales artificiales

En este apartado se describen los conceptos esenciales para el entendimiento de las redes neuronales artificiales con un hilo conductor que finaliza con la explicación de las redes neuronales recurrentes, el tipo de red neuronal seleccionado para desarrollar el algoritmo del presente trabajo.

NEURONA: El corazón de una red neuronal artificial es un nodo matemático o neurona. Es el elemento principal de todo el proceso. Las neuronas de la capa de entrada reciben la información, la cual la procesan mediante funciones matemáticas para luego distribuirla a las neuronas de la siguiente capa. Esta información se transforma en las capas intermedias hasta finalmente llegar a las neuronas de la capa de salida.

Figura 1. Elementos de una neurona.

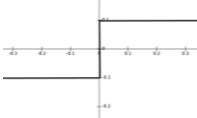
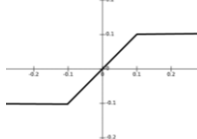
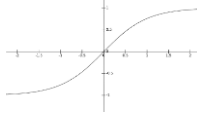
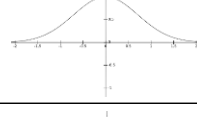
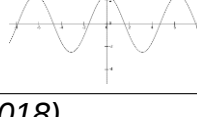


Fuente: Elaboración propia.

ELEMENTOS DE UNA NEURONA: Con base en la **Figura 1**, se tienen las diferentes entradas a la red que son las variables *inputs*. Estas variables tienen que llevar asociados unos *pesos iniciales* *w* que pueden ser aleatorios o fijados que representan la fuerza de una entre una neurona y otra, recibiendo múltiples entradas simultáneamente y cada entrada tiene su propio peso, proporcional a la importancia de la entrada dentro de la función de entrada de la neurona. La neurona trata a los valores de entrada como si fueran uno solo, esto se denomina entrada global, combinando las entradas simples con los pesos asignados, lo cual se logra a través de *la función de entrada* que realiza la operación adecuada (suma, producto,

máximo, etc.). Las neuronas deben contar con una *función de activación*, con la cual se calcula su estado de actividad, es decir, si esta envía su resultado o no a las diferentes neuronas con las que se encuentra vinculada. En la **Tabla 5** se encuentran las funciones de activación más comunes.

Tabla 5. Funciones de activación.

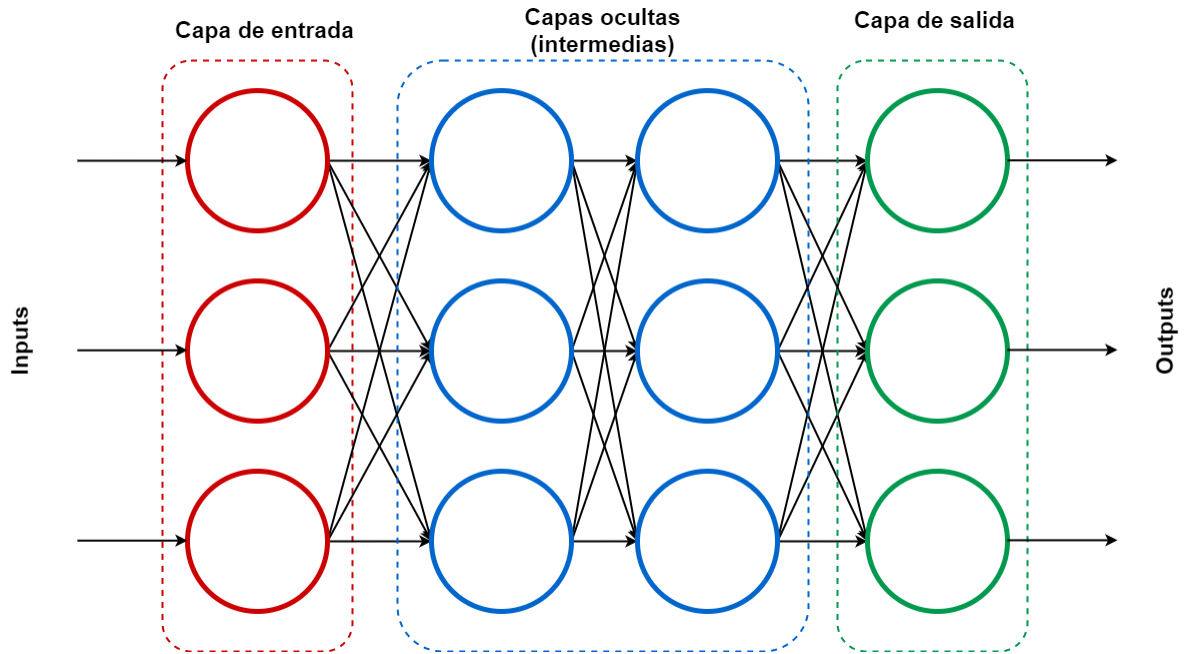
	FUNCIÓN	RANGO	GRÁFICA
IDENTIDAD	$y = X$	$\{-\infty, +\infty\}$	
ESCALÓN	$y = \text{sign}(X)$ $y = H(X)$	$\{-1, +1\}$ $\{0, +1\}$	
LINEAL A TRAMOS	$y = \begin{cases} -1, & \text{si } x < -1 \\ x, & \text{si } -1 \leq x \leq 1 \\ +1, & \text{si } x > 1 \end{cases}$	$[-1, +1]$	
SIGMOIDEA	$y = \frac{1}{1+e^{-x}}$ $y = \text{tgh}(x)$	$[0, +1]$ $[-1, +1]$	
GAUSSIANA	$y = Ae^{-Bx^2}$	$[0, +1]$	
SINUSOIDAL	$y = A \text{sen}(\omega x + \varphi)$	$[-1, +1]$	

Fuente: (Cabezón, 2018)

El último componente que una neurona necesita es la *función de salida*. El valor resultante de esta función es la salida de la neurona (outs). Por tanto, la función de salida determina qué valor se transfiere a las neuronas vinculadas.

RED NEURONAL: Una red neuronal está construida por un conjunto de nodos interconectados (neuronas) y se organizan en capas. Una red neuronal básica tiene una capa de entrada (input layer), una capa intermedia (hidden layer) y una capa de salida (output layer). Los nodos de la capa de entrada corresponden con el número de variables que queremos introducir en la red (serían los equivalentes a las variables independientes en una regresión lineal). Por otro lado, el número de nodos de salida depende del número de variables a predecir. Por último, la capa intermedia se usa principalmente para aplicar transformaciones no lineales a las variables de entrada originales.

Figura 2. Estructura de una red neuronal básica.



Fuente: Elaboración propia.

APRENDIZAJE DE UNA RED NEURONAL: Para el entrenamiento de la red, se requieren los siguientes elementos:

- 1) **Valores objetivo:** o valores target son una serie de valores establecidos, según la naturaleza del problema, que indican el óptimo funcionamiento de la red neuronal, con los cuales se calcula el error, y cuyo objetivo de la red es minimizar.
- 2) **Función de error:** esta función permite conocer qué tan eficiente son los resultados del algoritmo con respecto a los valores objetivo. Algunos ejemplos son MSE (mean squared error), MAE (mean absolute error), MAPE (mean absolute percentage error), binary cross entropy, categorical crossentropy, entre otros.
- 3) **Optimizador (optimizer):** es el mecanismo a través del cual la red actualiza los pesos, basándose en los datos que ve y en la función de error. Un ejemplo es el gradiente descendiente, el cual es un proceso para encontrar el punto mínimo de una función de forma iterativa, por lo que se requieren de múltiples pasos (iteraciones) para llegar a un punto de convergencia.

Las redes neuronales manejan dos tipos de información. La primera, es la información volátil, que se refiere a los datos que se están usando y varían con la

dinámica de la red. Esta información se encuentra almacenada en el estado dinámico de las neuronas. El segundo tipo es la información no volátil, que se mantiene para recordar los patrones aprendidos y se encuentra almacenada en los pesos. El proceso de aprendizaje o entrenamiento de una red neuronal consiste en encontrar la relación entre los pesos que permiten desarrollar la tarea para la cual ha sido diseñada la red, cómo puede ser predecir o clasificar.

Para este aprendizaje son necesarias técnicas como minimización del error o la optimización de alguna "función de recompensa" para modificar el valor de los pesos en función de las entradas disponibles y con ello optimizar la respuesta de la red a las salidas que se desean. Por ello, se necesita establecer una función de error que mida el rendimiento de la red en un instante dado encontrando los pesos que minimicen la función de error escogida. Las etapas en este proceso de aprendizaje son:

1. Inicialización de la red: Al comienzo del aprendizaje se generan unos pesos aleatorios para todas las conexiones.

2. Hacia delante: La información pasa desde la entrada hasta la salida en una única dirección a través de las funciones de activación y de los pesos. Para cada instante de tiempo se analiza un nuevo patrón de entrada y se intentan refinar los pesos buscando mejorar el nivel de error de la etapa anterior.

3. Asignación del error: El algoritmo se detiene cuando el error obtenido es menor que una cota preestablecida, cuando el error no decrece sensiblemente o cuando se ha alcanzado el número de iteraciones. En caso contrario, se pasa al paso 4.

4. Propagación del error: El error obtenido en la capa de salida es propagado hacia atrás para modificar los pesos. El algoritmo más utilizado es el Backpropagation, que es un método de entrenamiento con dos etapas, la primera calcula la salida de la red dado un patrón de entrada, y la segunda calcula su error (entre la salida obtenida y el target) y propaga este error hacia atrás desde la capa de salida, donde cada neurona precedente recibe un error proporcional a su contribución sobre el error total de la red.

5. Ajuste: Se ajustan los pesos usando el método del gradiente descendiente buscando la minimización del error.

REDES NEURONALES RECURRENTES: Este tipo de redes neuronales son dinámicas ya que tienen conexiones hacia atrás. La salida depende tanto de los valores actuales de las variables de entrada a la red como de los valores de iteraciones anteriores, así como de valores de salida de iteraciones anteriores. Tienen una gran habilidad para aprender problemas difíciles que tratan sobre datos con series temporales. Estas redes tienen estados ocultos distribuidos en el tiempo que permiten almacenar mucha información sobre el pasado de forma eficiente, lo

cual es ideal para el caso actual, pues utilizando una base de datos recolectados se pretende generar predicciones (nuevas rutinas de ejercicios).

2.3. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS

Los parámetros en este caso corresponden a los componentes de una rutina de entrenamiento de un día, que son estándares y están en términos de la ejecución de los ejercicios que se pueden realizar en un centro de acondicionamiento físico. En la **Tabla 6** se describen los parámetros que componen los planes de acondicionamiento físico personalizados y que fueron utilizados en la programación del algoritmo de redes neuronales, los cuales varían según las variables de cada persona y que se corrigen de acuerdo con los valores objetivos. Esto se explica más a fondo en la **Sección 2.5**.

Tabla 6. *Parámetros de rutinas de entrenamiento.*

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALORES Y UNIDADES
EJERCICIO	Los ejercicios por lo general son acciones físicas y movimientos repetitivos. Es la base del plan de acondicionamiento físico pues este está compuesto por un conjunto de ejercicios. El ejercicio tiene un nombre específico y según sea el caso, se puede ejecutar solo con el movimiento del cuerpo o una parte de este, con diferentes elementos como mancuernas o bandas elásticas; o alguna máquina de ejercicios particular. Igualmente se debe especificar la combinación de series y repeticiones, según la metodología de entrenamiento. Algunos están dados en término de tiempo o distancia según la naturaleza del ejercicio y la acción que deba ejecutarse.	Este parámetro está dado con nombres de ejercicios específicos que determinan la acción a ejecutar.
REPETICIONES	Corresponde a la cantidad de veces que se debe ejecutar un ejercicio específico.	Este parámetro está dado en valores numéricos enteros sin unidades. Por lo general, toma valores entre 10 y 100.
TIEMPO	Algunos ejercicios están dados en unidades de tiempo, así como algunas metodologías de entrenamiento para conjuntos de ejercicios determinados por el instructor.	Este parámetro está dado en segundos con valores numéricos enteros. Por lo general, toma valores entre 10 y 1200 segundos.
DISTANCIA	Otros ejercicios y metodologías de entrenamiento se realizan de acuerdo con una distancia que debe recorrer el individuo al momento de ejecutar un determinado ejercicio.	Este parámetro está dado en metros con valores numéricos enteros. Por lo general, toma valores entre 1000 y 5000 metros.
SERIES	Corresponde a la cantidad de circuitos que debe realizar el individuo, bien sea de un solo ejercicio o de un conjunto de ejercicios. Por ejemplo, si el instructor dispone que el ejercicio tenga 10 repeticiones con 5 series, esto quiere decir que se debe ejecutar el ejercicio 10 veces y con ello completará una serie, debe descansar un periodo de tiempo corto y hacer nuevamente 10 repeticiones, así completará una segunda serie. Debe seguir este procedimiento hasta completar las 5 series.	Este parámetro está dado en valores numéricos enteros sin unidades. Por lo general, toma valores entre 3 y 10.

Fuente: *Elaboración propia.*

Para el proceso de recolección de datos fue necesario establecer parámetros adicionales para construir la primera base de datos del algoritmo y que este pueda realizar su aprendizaje como se explicará más adelante en la **Sección 2.5**, así como la estructura de los parámetros para recolectar los datos.

- **FASE DE LA RUTINA:** Un plan de acondicionamiento está compuesto por 3 fases donde cada una tiene un conjunto de ejercicios específicos:
 - 1) **Calentamiento general:** que es un conjunto de actividades o ejercicios que se realizan antes de cualquier actividad física con el fin de disponer las funciones orgánicas, musculares, nerviosas y psicológicas del individuo.
 - 2) **Entrenamiento central:** conformado por el grupo de ejercicios específicos para determinados grupos musculares.
 - 3) **Vuelta a la calma:** que es conjunto de ejercicios de estiramiento que se debe realizar al final del entrenamiento.

Este parámetro es estándar y no varía con respecto a las variables y los valores objetivo establecidos, pues los ejercicios de todos los planes de acondicionamiento físico están divididos de acuerdo con esta clasificación.

- **CALIFICACIÓN FASE:** Este parámetro corresponde a la calificación que el individuo le otorga a cada fase de la rutina de ejercicios de acuerdo al esfuerzo percibido por el individuo por medio de la Escala de Borg (Borg, 1990) una vez que este ha ejecutado la rutina de ejercicios. Este concepto y la escala de valores se explican en la **Sección 2.4**. Este parámetro se utiliza en primera instancia para que los individuos desde su punto de vista califiquen los elementos de la rutina de entrenamiento, en términos generales, como leve, excelente o pesada, y hacer las correcciones pertinentes para construir una base de datos con rutinas de ejercicios óptimas. Posteriormente, este parámetro se utilizó para el aprendizaje del algoritmo como se explica en la **Sección 2.5**.
- **MODIFICACIÓN FASE:** Este parámetro fue utilizado para que el individuo, después de realizar la rutina de ejercicios y calificarla, indique las correcciones a los parámetros indicados en la **Tabla 6** en la rutina de ejercicios asignada por el instructor y contando con la asesoría de este último. No se permite modificar los ejercicios asignados ya que esta es una labor que realiza el instructor desde su experticia y conocimiento y, por lo general, los usuarios presentan preferencias por ciertos ejercicios y desagrado por otros, pero que son necesarios para lograr los objetivos del individuo; por lo cual se puede ver afectada la calidad en la prescripción de ejercicios si se añade este grado de subjetividad del individuo. Este parámetro solo se utilizó en la fase de recolección de datos para corregir las rutinas de ejercicios diseñadas por el grupo de expertos. Igualmente, en la **Sección 2.5** se explica cómo se utilizó este parámetro para corregir las rutinas recolectadas.

2.4. DEFINICIÓN DE VALORES OBJETIVO

Para el correcto funcionamiento de las redes neuronales en general, se debe determinar un valor objetivo por medio del cual el algoritmo realiza su proceso de aprendizaje y ajusta sus parámetros para próximos resultados. En este caso, el grupo de expertos recomendó la Escala de Borg (Borg, 1990) que mide la gama entera del esfuerzo que el individuo percibe al hacer ejercicio. Esta escala da criterios para hacerle ajustes a la intensidad del ejercicio, o sea, a la carga de trabajo, y así pronosticar y dictaminar las diferentes intensidades del ejercicio en los deportes y en la rehabilitación médica. El concepto del esfuerzo percibido es una valoración subjetiva que indica la opinión del sujeto respecto a la intensidad del trabajo realizado (Burkhalter, 1996).

En la **Tabla 7** se encuentran los valores y la gama de percepciones con respecto a los ejercicios que se utilizó para calificar las fases de la rutina. Básicamente, después de terminar cada fase de la rutina de ejercicios asignada, cada individuo debe calificar cada fase con un número del 1 al 10 dependiendo de la sensación de esfuerzo físico que este percibió, donde el valor objetivo es el 5, el cual es un punto de equilibrio donde el individuo considera que la prescripción de los ejercicios es la ideal. Si la fase de rutina es calificada con un valor menor, es porque el individuo consideró que no necesitó mucho esfuerzo para realizar los ejercicios y que estos no fueron lo suficientemente efectivos. Por el contrario, si califica la fase con un número mayor a 5 es porque consideró que el trabajo fue excesivo. En la **Sección 2.5.** se muestra un ejemplo de cómo se utilizaron estas escalas de valores y cómo influyeron en los datos y en la elaboración del algoritmo.

Tabla 7. Escala de Borg.

ESCALA DE BORG	
CALIFICACIÓN	PERCEPCIÓN CON RESPECTO AL EJERCICIO
1	EXCESIVAMENTE LIVIANO
2	
3	LIVIANO
4	
5	EXCELENTE (NI LIVIANO, NI PESADO)
6	ALGO PESADO
7	PESADO
8	
9	EXCESIVAMENTE PESADO
10	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Test aplicados.

EJERCICIO	CRITERIO		TIPO DE TEST
Kilómetro en el remo electrónico.	HOMBRES Y MUJERES		RESISTENCIA CARDIOVASCULAR
	Menos de 3 minutos	BUENO	
	Entre 3 y 4 minutos y medio	REGULAR	
	Más de 4 minutos y medio	MALO	
Máxima cantidad de repeticiones en dos minutos de flexiones (push ups)	HOMBRES		RESISTENCIA A LA FUERZA
	60 o más	BUENO	
	Entre 45 y 59	REGULAR	
	Menos de 45	MALO	
	MUJERES		
	40 o más	BUENO	
	Entre 30 y 39	REGULAR	
	Menos de 30	MALO	
Máxima cantidad de repeticiones en dos minutos de abdominales (crunch)	HOMBRES		
	60 o más	BUENO	
	Entre 50 y 59	REGULAR	
	Menos de 50	MALO	
	MUJERES		
	50 o más	BUENO	
	Entre 40 y 49	REGULAR	
	Menos de 40	MALO	
Máxima cantidad de repeticiones en dos minutos de sentadillas	HOMBRES		
	70 o más	BUENO	
	Entre 60 y 69	REGULAR	
	Menos de 60	MALO	
	MUJERES		
	60 o más	BUENO	
	Entre 50 y 59	REGULAR	
	Menos de 50	MALO	
Plancha - 8 Posiciones de 15 segundos cada una	HOMBRE Y MUJERES		
	8 posiciones	BUENO	
	Entre 5 y 7 posiciones	REGULAR	
	Menos de 5 posiciones	MALO	
Blanco plano - Debe ser capaz de levantar 1.4 veces su peso corporal	HOMBRE Y MUJERES		FUERZA
	LO LOGRA	BUENO	
	NO LO LOGRA	MALO	
Peso muerto - Debe ser capaz de levantar 2 veces su peso corporal	HOMBRE Y MUJERES		
	LO LOGRA	BUENO	
	NO LO LOGRA	MALO	
Sentadilla - Debe ser capaz de levantar 1.8 veces su peso corporal	HOMBRE Y MUJERES		
	LO LOGRA	BUENO	
	NO LO LOGRA	MALO	

Fuente: Elaboración propia.

Es importante tener en cuenta la percepción del instructor, para lo cual existen una serie de tests para medir el rendimiento del individuo y la efectividad que está teniendo la rutina de ejercicios en la salud y aptitud física de este, que consisten en la ejecución de determinados ejercicios con una cantidad de repeticiones y un periodo de tiempo estándar. Estos deben ser aplicados el día viernes cada dos semanas, durante sesiones de ejercicios más estandarizadas. En la Sección **2.5**, se explica cómo estas métricas influyeron en los datos y en la elaboración del algoritmo.

En la **Tabla 8** se describen los tests y los criterios que el grupo de expertos consideró apropiados aplicar en cualquier proceso de acondicionamiento físico y que miden la efectividad de las rutinas de ejercicios propuestas a través del rendimiento que presenten los individuos al realizarlos; y que, además, con base en el principio de la unidad funcional, se toman en cuenta tres aspectos esenciales en el entrenamiento deportivo por medio de los cuales los instructores dan seguimiento al estado físico del individuo y su aptitud física:

- **Resistencia cardiovascular**, la capacidad que tienen el corazón, los pulmones y los vasos sanguíneos para dar energía al cuerpo durante un ejercicio continuo y prolongado (Balbín, 2020).
- **Fuerza**, la capacidad que permite al ser humano oponerse a una resistencia o ejercer una presión, por medio de una tensión muscular (Irala, 2018).
- **Resistencia a la fuerza**, la capacidad de los músculos para empujar, levantar o tirar de un peso determinado durante un periodo de tiempo (LBDC, 2018).

2.5. RECOLECCIÓN DE DATOS

Una vez establecidos los parámetros y los valores objetivos, en esta sección se construyó el “*Formato de recolección de datos*”, posteriormente se describe la selección los individuos para comenzar con el proceso de recolección de datos. A estos individuos, que de ahora en adelante se nombrarán como “*Población objetivo*”, se les entregó el formato de inscripción elaborado en el Capítulo 1, recopilando los datos correspondientes a las variables del algoritmo.

Luego los instructores elaboraron las rutinas de entrenamiento para cada individuo y a cada uno de los individuos se les entregó el formato de recolección de datos para recopilar la información correspondiente a las calificaciones de las rutinas de ejercicios, explicando cómo se realizó este procedimiento y la estructura de los datos recolectados.

2.5.1. FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Antes de comenzar con la recolección de datos, fue necesario realizar este formato con el cual se recopiló la información correspondiente a la percepción de los individuos de la población objetivo con respecto a las rutinas de ejercicios planteadas por los expertos. Este está compuesto por dos páginas: la página 1 que se encuentra en el **Anexo 3** contiene la información sobre cómo diligenciar el formato; la página 2 que se encuentra en el **Anexo 4** contiene los espacios necesarios para recolectar la siguiente información:

- El nombre del individuo para hacer su seguimiento.
- El número de la semana para identificar en qué punto del ciclo de entrenamiento se encuentra.
- La fecha de inicio y la fecha final para hacer el seguimiento del ciclo de entrenamiento.
- Una columna que contiene el día y otra columna que contiene las fases del entrenamiento, donde cada día cuenta con las 3 fases del entrenamiento, a excepción del viernes. Esto se explica más adelante.
- Una columna para registrar la calificación de cada fase de entrenamiento.
- Una columna de observación para registrar los cambios a cada fase de la rutina de entrenamiento.
- En el **Anexo 5** se encuentra un formato de recolección de datos diligenciado.

2.5.2. SELECCIÓN DE INDIVIDUOS POBLACIÓN OBJETIVO

Con el fin de alimentar la base de datos del algoritmo de redes neuronales y realizar el proceso de aprendizaje, se seleccionó un grupo voluntario de personas llamado “*población objetivo*”, a los cuales se les entregó y explicó el formulario de inscripción para su diligenciamiento. Este grupo estuvo conformado por usuarios del centro de acondicionamiento físico TOFIÑO’S GYM y uno de los instructores del grupo de expertos que apoyó la realización de este trabajo. La población objetivo estuvo constituida por un grupo de 20 individuos, heterogéneo en términos de las variables seleccionadas, cuyas características se resumen en la **Tabla 9**.

2.5.3. RUTINAS DE EJERCICIOS

Una vez seleccionada la población objetivo, los instructores del grupo de expertos se encargaron de realizar las rutinas de entrenamiento para 2 individuos cada uno. En la **Tabla 10** se muestra un ejemplo de rutina de ejercicios de un día de las que fueron recolectadas para construir la primera base de datos del algoritmo, mostrando la estructura básica de las rutinas de entrenamiento con base en los parámetros de la **Tabla 7**.

Tabla 9. Resumen información de la población objetivo.

VARIABLE	RESUMEN
SEXO	10 hombres y 10 mujeres.
EDAD	17 y 52 años
PORCENTAJE DE GRASA CORPORAL	17% y 30%
ENFERMEDADES TRANSMISIBLES	Un individuo hipertenso y un individuo que padece diabetes.
NIVEL DE ESTADO FÍSICO	Un individuo que nunca ha realizado actividad física, dos individuos realizaban actividad física, pero dejaron de hacerlo durante un año aproximadamente, y el resto de individuos se les consideró que nunca cesaron de realizar actividad física pues han sido usuarios del escenario seleccionado cuando adquirieron el hábito. Estos últimos llevan realizando actividad física entre 1 y 25 años. Los individuos que realizan o han realizado actividad física lo hacen entre 2 y 6 días a la semana.
HISTORIAL DE LESIONES ARTICULARES	Los individuos han presentado de una a cuatro lesiones en diferentes articulaciones. Se tienen dos individuos con lesión en el hombro, un individuo con lesión en el codo, tres individuos con lesión en la muñeca, dos individuos con lesión en la cadera, cinco individuos con lesión en rodillas, uno individuo con lesión en el tobillo y tres individuos con lesión en la columna.
HISTORIAL DE LESIONES MUSCULARES	Los individuos han presentado de una a dos lesiones en diferentes grupos musculares. Se tiene un individuo con lesión en el trapecio, un individuo con lesión en el pectoral y cuatro individuos con lesión a nivel lumbar.
HORARIO DE ENTRENAMIENTO	15 individuos en el horario de la mañana, 2 en el horario de la tarde y 3 en el horario nocturno.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Ejemplo de rutina de ejercicios de un día.

FASE DE LA RUTINA	EJERCICIO	SERIES	REP.	TIEMPO	DISTANCIA
CALENTAMIENTO GENERAL	TÍTERES	5	20		
	PLANCHA	5		60	
	ESCALADORES POR PIERNA	5	50		
ENTRENAMIENTO CENTRAL	SENTADILLA LIBRE	10	10		
	SENTADILLA LIBRE CON SALTO	10	10		
	FLEXIONES DE BRAZO	10	10		
	ESCALADORES POR PIERNA	5	20		
	SKIPPING	5	20		
VUELTA A LA CALMA	ESTOCADA LATERAL POR LADO	3	20		
	INCLINADO HACIA UN LADO	3		60	
	ISQUIOTIBIALES SENTADO	3		30	
	EXTENSIÓN DE ESPALDA	3		30	

Fuente: Elaboración propia.

Estas rutinas de ejercicios se realizaron para los días lunes, martes miércoles, jueves y viernes completando así una semana. Los días sábado y domingo no se tienen en cuenta dado que los expertos recomiendan descansar durante estos días por principio de recuperación y, generalmente, a los individuos que prefieren realizar actividad física durante toda la semana se les recomienda realizar actividades al aire libre como el trote, ciclismo, natación, entre otros (Nicolaus et al., 2015). Se diseñaron rutinas para 8 semanas, completando un ciclo de entrenamiento. Se consideró esta cantidad de semanas ya que, por un lado, a partir de la octava semana, si el individuo ha cumplido con las reglas de alimentación impuestas por el instructor y ha llevado un proceso disciplinado, este comienza a experimentar cambios a nivel corporal y de aptitud física (fuerza, resistencia cardiovascular y resistencia a la fuerza); basándose en los principios de la continuidad y la progresión.

Los datos de las rutinas asignadas fueron otorgados por el grupo de expertos quienes las diseñaron cuidadosamente cada semana, con base en los parámetros mencionados en la **Tabla 7** y considerando las fases de las rutinas. Igualmente se estandarizaron los nombres de los ejercicios para evitar confusiones y errores al momento de condensar la base de datos para el funcionamiento del algoritmo. Igualmente, las metodologías de entrenamiento se estandarizaron con base en los parámetros mencionados de la siguiente forma según las posibilidades planteadas por el grupo de expertos y que estas se pudieran diferenciar de acuerdo con el orden de los ejercicios y la organización de las series, repeticiones, tiempo y distancia:

- Si se desea hacer un circuito común de ejercicios, se debe colocar seguidos con la misma cantidad de repeticiones. Los circuitos comunes están compuestos de 2 a 4 ejercicios. Por ejemplo: el circuito está compuesto por 10 repeticiones de Sentadillas y 10 repeticiones por pierna de Lunges, y el individuo debe completar 5 series. La metodología consistirá entonces en realizar primero 10 repeticiones de un ejercicio y luego 10 repeticiones del otro, así se completa una serie. Esto mismo debe realizarse 5 veces.
- Si se desea implementar la metodología AMRAP (As Many Repetitions As Possible), los ejercicios deben estar seguidos y expresados en repeticiones y unidad de tiempo que dura el circuito. Siguiendo con el ejemplo anterior, esta metodología consiste en realizar la mayor cantidad de series que sea posible en un tiempo determinado que va desde los 10 hasta los 30 minutos.
- Si desea utilizar la metodología TABATA, los ejercicios deben estar seguidos, especificar dentro de los ejercicios el descanso y el tiempo de duración de este, así como la cantidad de series, repeticiones o distancia según sea el caso. Esta metodología consiste, por ejemplo, en realizar durante dos minutos los ejercicios planteadas con sus repeticiones, descansar durante 30 segundos y terminado

ese tiempo, volver a realizar los dos minutos de ejercicio hasta completar, por ejemplo, 5 series.

- Si se desea realizar un circuito piramidal, se debe especificar una sola serie y escribir los ejercicios, deben estar seguidos, especificar en el ejercicio la cantidad de repeticiones a disminuir o aumentar, la cantidad de repeticiones con las que se comienza el circuito y la cantidad de series a realizar. Por ejemplo, se comienza la primera serie con 20 repeticiones de dos ejercicios, esta metodología consiste en disminuir dos repeticiones en la siguiente serie, es decir, en la primera serie se realizan 20 repeticiones, en la siguiente 18 repeticiones y así sucesivamente hasta llegar a 10 o el número de repeticiones que especifique el instructor.

En este punto cabe aclarar que el algoritmo resultante elaborará rutinas de ejercicios dirigidas a los usuarios de centros de acondicionamiento físico, los cuales normalmente buscan realizar actividad física frecuentemente por salud y, en cierta medida, obtener una apariencia física esbelta. No está dirigido para deportistas de una disciplina específica, pues es poco común que estos asistan a un escenario como estos para ejecutar sus rutinas de entrenamiento, dado que no se cuenta con el espacio y las herramientas necesarias para el mismo.

Por otro lado, se tiene que para los usuarios se deben implementar, generalmente, durante la semana y su ciclo de entrenamiento, diferentes metodologías de entrenamiento donde se trabaje simultáneamente para mejorar la resistencia muscular, la fuerza y la resistencia a la fuerza (principio de la multilateralidad); por tal motivo, se estandarizaron dichas metodologías y los instructores del grupo de expertos las tuvieron en cuenta en diferentes días y semanas (lógicamente dependiendo de las variables de cada individuo) al momento de diseñar las rutinas de ejercicios, de tal forma que la primera base de datos tuviera una amplia diversidad para que el algoritmo pueda realizar la prescripción de ejercicios de la mejor manera.

Igualmente, es importante que, a medida que los usuarios avancen con sus rutinas de ejercicios y completen sus ciclos de entrenamiento, los instructores realicen variaciones pertinentes con respecto a las metodologías que utilizan en las rutinas, ya que por principio de supercompensación, los individuos se pueden estancar con respecto al logro de sus objetivos si se manejan rutinas estandarizadas para los ciclos, y además, por principio de progresión, la intensidad del entrenamiento debe aumentar progresivamente y variando según la continuidad que lleve el individuo con su proceso (principio de continuidad).

Es por ello que cada dos semanas, los viernes se realizaron clases grupales (teniendo en cuenta las condiciones biológicas y características de cada individuo de la población objetivo) y durante esta sesión se plantearon diferentes tipos de test de la **Tabla 8** con los cuales los instructores comúnmente califican el rendimiento

del individuo y verifican la efectividad de las rutinas de ejercicios planteadas para comenzar el diseño de las siguientes rutinas de entrenamiento. Por tal motivo, en el formato de recolección de datos los viernes no se tiene contenido en las columnas de fase de la rutina, pues durante las semanas con número impar se rellenaban con los nombres de las fases y se realizaba la calificación normalmente, pero para las semanas pares, en estos espacios se colocaron los test aplicados a cada individuo según sus condiciones físicas y con ello el instructor, además de tener una guía para realizar las siguientes rutinas, otorgaba una calificación con la cual se determinaba si las modificaciones registradas por los individuos son pertinentes. Esto se explica en el siguiente apartado.

2.5.4. RECOPIACIÓN Y CONDENSACIÓN DE DATOS

En la primera parte de recopilación de datos, se le entregó a cada individuo el formato de inscripción y así obtener la información correspondiente a sus variables, la cual se resumió en la **Tabla 9** mostrando los datos de toda la población objetivo. Igualmente, en el archivo de Excel adjunto “**RECOLECCIÓN DE DATOS**”, en la pestaña “**DATOS INDIVIDUOS PO**”, se encuentran detallados los datos estos 20 individuos dispuestos de forma horizontal, lo cual se explica en la **Sección 2.6**. Cabe aclarar que cuando se comenzó con este proceso, los individuos llevaban un tiempo realizando actividad física en el escenario seleccionado, por lo cual marcaron la opción 3 en el nivel de estado físico, la cual permite conocer la cantidad de días que el individuo lleva realizando actividad física y cuántas veces por semana.

Posteriormente, los instructores diseñaron las rutinas de ejercicios con la estructura de la **Tabla 10**. Luego se le entregó un formato de recolección de datos a cada individuo cada semana para recolectar las calificaciones como se observa en la **Tabla 11**, completando la información de la **Tabla 10**.

Tabla 11. Ejemplo de rutina de ejercicios con calificación y modificación.

FASE DE LA RUTINA	EJERCICIO	SERIES	REP.	TIEMPO	DISTANCIA	CALIFICACIÓN FASE	MODIFICACIÓN			
							SERIES	REP.	TIEMPO	DISTANCIA
CALENTAMIENTO GENERAL	TÍTERES	5	20			5				
	PLANCHA	5		60						
	ESCALADORES POR PIERNA	5	50							
ENTRENAMIENTO CENTRAL	SENTADILLA LIBRE	10	10			6	-5			
	SENTADILLA LIBRE CON SALTO	10	10				-5			
	FLEXIONES DE BRAZO	10	10				-5			
	ESCALADORES POR PIERNA	5	20					-10		
	SKIPPING	5	20					-10		
VUELTA A LA CALMA	ESTOCADA LATERAL POR LADO	3	20			5				
	INCLINADO HACIA UN LADO	3		60						
	ISQUIOTIBIALES SENTADO	3		30						
	EXTENSIÓN DE ESPALDA	3		30						

Fuente: Elaboración propia.

Básicamente se agregaron los parámetros adicionales de la **Sección 2.3**, correspondiente a la calificación de la fase y la modificación de la fase. Lo individuos en el formato de recolección de datos debían calificar por fases la rutina de ejercicios

de acuerdo a los valores de la Escala de Borg (**Tabla 7**). Si el individuo calificaba la fase con un valor de 5, es porque desde su punto de vista consideró que los ejercicios propuestos de la fase fueron perfectos. Por ejemplo, en la **Tabla 11** la fase de calentamiento general fue calificada con un 5, por lo tanto, las columnas de modificación están vacías porque no es necesario hacer cambios. Por el contrario, si se califica con un valor mayor a 5, es porque el individuo consideró que la rutina fue muy pesada y que se deben bajar los valores de los parámetros de la fase calificada.

Por ejemplo, en la **Tabla 11** la fase de entrenamiento central fue calificada con 6, de ser así el individuo escribió en el formato de recolección de datos en la columna de observación las modificaciones, indicando que se deben disminuir en 5 las series de los primero 3 ejercicios y disminuir 10 repeticiones a los últimos 2, para que la rutina sea optima y se califique con 5. De esta forma se recolectaron los datos y se condensaron en Excel agregando las columnas correspondientes al día de la semana, el número de la semana y el número asignado al individuo, como se observa en la **Tabla 12**.

Tabla 12. Ejemplo de datos completos de rutinas y calificaciones recopilados.

INDIVIDUO	SEMANA	DIA	FASE DE LA RUTINA	EJERCICIO	SERIES	REP.	TIEMPO	DISTANCIA	CALIFICACIÓN FASE	MODIFICACIÓN			
										SERIES	REP.	TIEMPO	DISTANCIA
1	1	LUNES	CALENTAMIENTO GENERAL	TÍTERES	5	20			5				
				PLANCHA	5		60						
				ESCALADORES POR PIERNA	5	50							
			ENTRENAMIENTO CENTRAL	SENTADILLA LIBRE	10	10			6	-5			
				SENTADILLA LIBRE CON SALTO	10	10				-5			
				FLEXIONES DE BRAZO	10	10				-5			
				ESCALADORES POR PIERNA	5	20					-10		
				SKIPPING	5	20					-10		
				ESTOCADA LATERAL POR LADO	3	20			5				
			VUELTA A LA CALMA	INCLINADO HACIA UN LADO	3		60						
				ISQUIOTIBIALES SENTADO	3		30						
				EXTENSIÓN DE ESPALDA	3		30						

Fuente: Elaboración propia.

A cada individuo de la población objetivo se le asignó un número el 1 al 20 para tener un orden y hacer seguimiento a cada uno. Los días viernes cada dos semanas, además de registrar las calificaciones de las fases como normalmente se hace, se registraron los datos correspondientes a los test planteados en la **Tabla 8**. En la **Tabla 13** se encuentra un ejemplo de registro de esta información.

Tabla 13. Ejemplo de información de test aplicados.

FASE DE LA RUTINA	EJERCICIO	SERIES	REP.	TIEMPO	DISTANCIA	CALIFICACIÓN FASE
RESISTENCIA CARDIOVASCULAR	Kilómetro en remo electrónico			235		REGULAR
RESISTENCIA A LA FUERZA	Máxima cantidad de repeticiones en dos minutos de flexiones (push ups)		62			BUENO
	Máxima cantidad de repeticiones en dos minutos de abdominales (crunch)		71			BUENO
	Máxima cantidad de repeticiones en dos minutos de sentadillas		79			BUENO
	Plancha - 8 Posiciones de 15 segundos cada una		8			REGULAR
FUERZA	Blanco plano - Debe ser capaz de levantar 1.4 veces su peso corporal					MALO
	Peso muerto - Debe ser capaz de levantar 2 veces su peso corporal					BUENO
	Sentadilla - Debe ser capaz de levantar 1.8 veces su peso corporal					BUENO

Fuente: Elaboración propia.

En el ejemplo anterior, se muestra la aplicación de todos los test. Con esta información cada dos viernes, los instructores analizaban los datos recolectados de las dos semanas para cada individuo a su cargo, de tal forma que se determinaba si las modificaciones propuestas por los individuos eran adecuadas o no. Por ejemplo, el viernes de la semana 2, se realizaban los test y se registraban como se muestra en la **Tabla 13**.

Con esta información el instructor determinaba si las modificaciones eran adecuadas. De ser así, se realizaba dicha modificación obteniendo las rutinas ajustadas que, posteriormente, conformarán la base de datos del algoritmo para que este pueda realizar su proceso de aprendizaje y, además, pueda genera rutinas de ejercicios para nuevos individuos. En el archivo de Excel adjunto “**RECOLECCIÓN DE DATOS**”, en la pestaña “**BASE DE DATOS - PO**” se encuentra la información original recolectada de las rutinas de ejercicios y las calificaciones de la población objetivo.

2.6. ESTRUCTURACIÓN DEL ALGORITMO

2.6.1. BASE DE DATOS

La base de datos para el funcionamiento del algoritmo está compuesta tanto de la información de las variables de los individuos como de los datos de las rutinas ajustadas y la calificación de estas.

Los datos de las variables se organizaron de tal forma que a cada variable le correspondía una columna o una serie de columnas, donde en cada columna se colocó el dato correspondiente cómo se indica en la **Tabla 14**, convirtiendo los datos de las variables en vectores. Los datos de las rutinas de entrenamiento se modificaron de la forma que se explicó en la **Sección 2.5.4** y se organizaron como se observa en la **Tabla 15**, donde los parámetros que fueron necesarios para completar la base de datos y que el algoritmo pueda leerlos para realizar su proceso de aprendizaje y generar nuevas rutinas. Esto se explica en la siguiente sección.

Como se aprecia en la tabla anterior, los datos de las rutinas se disponen en filas. Con respecto a la **Tabla 12**, esta no contiene el dato del número del individuo y los datos de las series y repeticiones fueron modificadas según lo indicado por el individuo y el instructor. Nótese que, al hacer estas modificaciones, la calificación de la fase de calentamiento central pasa de 6 a 5. De este mismo modo se corrigieron las demás rutinas de entrenamiento para que la columna de calificación de fase solo tuviera valores de 5. Estos datos igualmente se convirtieron en vectores asignando valores numéricos a los días, las fases de entrenamiento y a los ejercicios.

Tabla 14. Organización de datos de variables.

COLUMNAS	VALOR
SEXO	Hombres: 1. Mujeres: 0.
EDAD	Número en años correspondiente a la edad.
PORCENTAJE DE GRASA CORPORAL	Decimales del 0 al 1.
ENFERMEDADES TRANSMISIBLES	Una columna para cada enfermedad. Se marca 1 en la columna de la enfermedad que posea el individuo, y 0 en las que no. Puede darse el caso de que las tres columnas sean 0.
NIVEL DE ESTADO FÍSICO	Se tienen 8 columnas. La primera columna corresponde a la opción "Nunca ha realizado actividad física". Se marca 1 en esta columna si es el caso. Las siguientes cuatro columnas corresponden a la opción "Ha realizado actividad física, pero dejó de hacerlo por un tiempo" donde si se escoge esta opción se debe indicar en la siguiente columna con un número entero la cantidad de días que llevaba realizando actividad física, igualmente en la siguiente columna la cantidad de días que llevaba realizando actividad física y en la cuarta la cantidad de días a la semana que realizaba actividad física. Se marca 1 en la primera columna y en las siguientes 3 columnas se colocan los números correspondientes si es el caso. Las últimas tres columnas corresponden a la opción "Ha realizado actividad física, pero solo decidió cambiar de centro de acondicionamiento físico", donde si se escoge esta opción se debe indicar en la siguiente columna con un número entero la cantidad de días que llevaba realizando actividad física y en la siguiente columna la cantidad de días a la semana que realizaba actividad física. Se marca 1 en la primera columna y en las siguientes 2 columnas se colocan los números correspondientes si es el caso. Si se escoge cualquier opción se marca el 1 y se escriben los datos en las columnas mencionadas, el resto de la sección se marca con ceros.
HISTORIAL DE LESIONES ARTICULARES	Cada lesión articular tiene una columna, se debe colocar 1 en la columna correspondiente a su lesión o lesiones y el resto marcadas con ceros. Puede darse el caso de marcar todas las columnas con ceros.
HISTORIAL DE LESIONES MUSCULARES	Cada lesión muscular tiene una columna, se debe colocar 1 en la columna correspondiente a su lesión o lesiones y el resto marcadas con ceros. Puede darse el caso de marcar todas las columnas con ceros.
HORARIO DE ENTRENAMIENTO	Cada horario tiene una columna, se debe marcar el horario seleccionado con 1 y el resto con ceros.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. Organización de datos de rutinas y calificaciones.

SEMANA	DIA	FASE DE LA RUTINA	EJERCICIO	SERIES	REP.	TIEMPO	DISTANCIA	CALIFICACIÓN FASE
1	LUNES	CALENTAMIENTO GENERAL	TÍTERES	5	20			5
1	LUNES	CALENTAMIENTO GENERAL	PLANCHA	5		60		5
1	LUNES	CALENTAMIENTO GENERAL	ESCALADORES POR PIERNA	5	50			5
1	LUNES	ENTRENAMIENTO CENTRAL	SENTADILLA LIBRE	5	10			5
1	LUNES	ENTRENAMIENTO CENTRAL	SENTADILLA LIBRE CON SALTO	5	10			5
1	LUNES	ENTRENAMIENTO CENTRAL	FLEXIONES DE BRAZO	5	10			5
1	LUNES	ENTRENAMIENTO CENTRAL	ESCALADORES POR PIERNA	5	10			5
1	LUNES	ENTRENAMIENTO CENTRAL	SKIPPING	5	10			5
1	LUNES	VUELTA A LA CALMA	ESTOCADA LATERAL POR LADO	3	20			5
1	LUNES	VUELTA A LA CALMA	INCLINADO HACIA UN LADO	3		60		5
1	LUNES	VUELTA A LA CALMA	ISQUIOTIBIALES SENTADO	3		30		5
1	LUNES	VUELTA A LA CALMA	EXTENSIÓN DE ESPALDA	3		30		5

Fuente: Elaboración propia.

Para los días se asignó el número 1 para el lunes, el 2 para el martes, el 3 para el miércoles, el 4 para el jueves y el 5 para viernes. En cuanto a las fases de entrenamiento, se asignó el 1 para el calentamiento general, el 2 para el entrenamiento central y el 3 para la vuelta a la calma. Por último, para los ejercicios, se elaboró una lista con los nombres de los ejercicios que se pueden ejecutar en el centro de acondicionamiento físico por un individuo completamente sano, así como variaciones de estos para distintas metodologías de entrenamiento. En total resultaron 246 nombres, a cada nombre se le asignó un número del 1 al 246.

Con 39 columnas correspondientes a las variables de los individuos y 9 columnas correspondientes a los datos de las rutinas y las calificaciones, se obtuvieron vectores (filas) de datos de 48 valores. De acuerdo con la disposición de los datos de las rutinas que se muestra en la **Tabla 15**, por cada día de rutina, se obtuvieron entre 3 y 6 filas de ejercicios de calentamiento general, entre 6 y 14 filas de ejercicios de entrenamiento central y entre 3 y 5 filas de ejercicios de vuelta a la calma. Así, teniendo 5 días para cada individuo para completar una semana; teniendo 8 semanas para cada individuo completando un ciclo de entrenamiento; y teniendo 20 individuos, se obtuvieron en total 12.383 filas de datos para la primera base de datos. En el archivo CSV Excel adjunto “**DatosPO**” se encuentra la base de datos codificada y que fue utilizada en la **Sección 2.7** para programar el algoritmo.

2.6.2. CONSTRUCCIÓN DEL ALGORITMO

Para facilitar la comprensión del funcionamiento del algoritmo, se explicará su estructura a partir de submodelos y divisiones de la base de datos general; explicando cómo se diseñaron para construir el algoritmo general.

El primer submodelo se realizó para un día específico y para una fase de rutina específica. A manera de ejemplo, se tomará el día lunes y la fase de calentamiento general. Por lo tanto, se tiene una primera división de la fase de datos, que contiene la información de las variables de todos los individuos, pero solo las rutinas del lunes y la fase de calentamiento general.

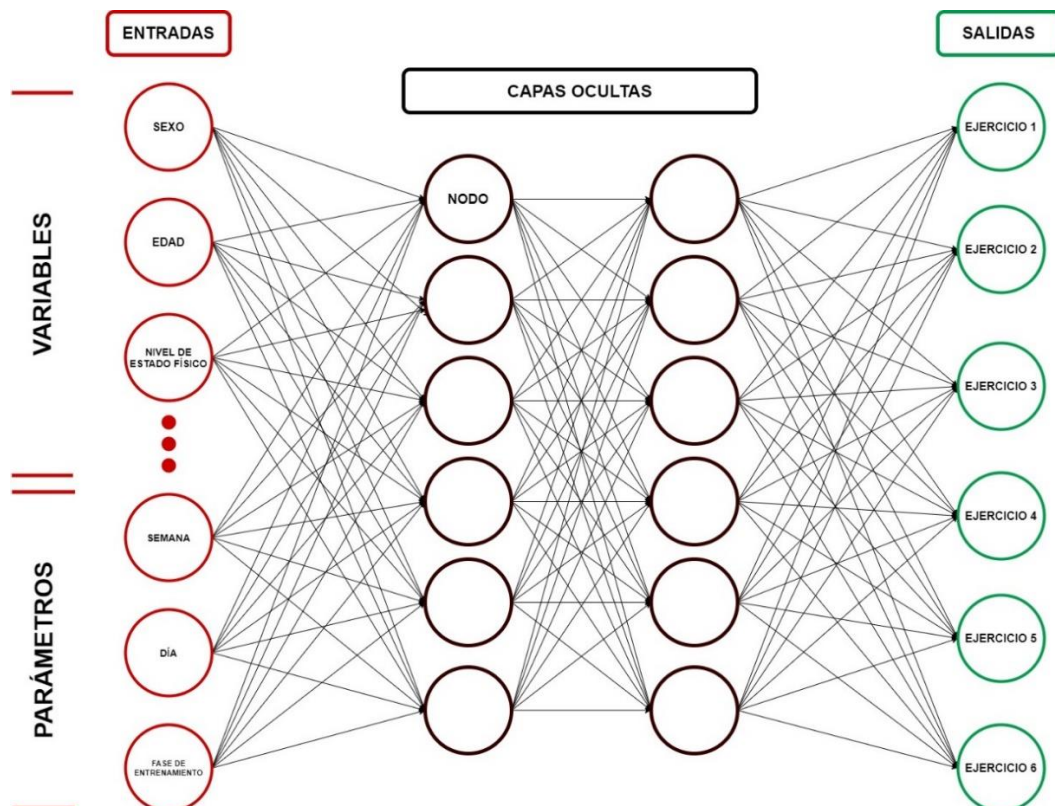
Para crear un algoritmo de redes neuronales básico y posteriormente programarlo en Python, se requiere establecer en la base de datos cuales serán las entradas o valores X y cuáles serán las salidas o valores Y. Para este submodelo ejemplo, se tiene que los valores X serán los datos de las variables de cada individuo, el día de la semana y el número de la fase, que sería el calentamiento general. Los valores Y serán los nombres de los ejercicios correspondientes a la fase de calentamiento general, pues es lo que desea predecirse para nuevos individuos.

En la **Figura 3** se observa gráficamente cómo está compuesto este submodelo ejemplo. Se tiene en primer lugar una capa de entrada compuesta por varias neuronas. Para cada valor de las variables se tiene una neurona (nodo), igualmente para el valor de la semana, el día y la fase del entrenamiento, teniendo así una capa

de entrada de 42 neuronas. Posteriormente se debe definir la cantidad de capas ocultas y la cantidad de neuronas que tendrán cada una de esas capas, lo cual se explica en la **Sección 2.7**. Por último, se tiene la capa de salida compuesta para este ejemplo por 6 neuronas, ya que este corresponde al número máximo de ejercicios para esta fase de calentamiento general de acuerdo con los datos recolectados.

Ahora bien, cada neurona de la capa de entrada está conectada a cada neurona de la primera capa oculta, igualmente estas con las de la siguiente capa oculta y estas con las de la capa de salida. Todas se conectan mediante valores entre 0 y 1 que se llaman pesos, lo cuales inicialmente se establecen aleatoriamente. Todos los valores de las neuronas de la capa de entrada se convierten en un valor mediante una función de entrada que llega a cada una de las neuronas de la siguiente capa. Cada neurona de las capas ocultas tiene una función de activación la cual determina si estas entran en funcionamiento o no. De entrar en funcionamiento (activarse), esta neurona tiene una función de salida que transforma el valor recibido de las neuronas de la capa anterior y lo envía a las neuronas de la siguiente capa. Este proceso se realiza hasta llegar a las capas de salida que arrojan el resultado, para este caso los nombres de los ejercicios en valores numéricos.

Figura 3. Submodelo de red neuronal - Ejemplo.



Fuente: Elaboración propia.

La base de datos para este submodelo estaría compuesta por los valores de las variables de los 20 individuos y las rutinas de ejercicios de la fase de calentamiento general de los lunes, pero solamente con los nombres de los ejercicios, es decir, no se tienen cuenta con los datos de las series, repeticiones, tiempo, distancia y calificación de la fase. Para este ejemplo, la base de datos por 39 columnas de las variables y 4 de los parámetros, organizadas de tal forma que los valores X correspondieran a las primeras 42 columnas y el valor Y a la columna 43. Esto para que los comandos puedan leer correctamente el set de datos y puedan hacer el proceso de aprendizaje.

Se define una métrica de error sobre la cual se corrigen los valores de pesos iniciales, que sería el proceso de aprendizaje. Es aquí donde se utiliza la base de datos con los valores X y Y establecidos. En este ejemplo, el submodelo tomaría los datos de 16 individuos como datos iniciales para su entrenamiento y con los valores de los 4 individuos restantes, comenzaría el proceso de aprendizaje (prueba) como si no se tuviera registro de los nombres de los ejercicios de estos 4 individuos, empezando a predecir dichos nombres y comparándolos con los valores reales de la base de datos, obteniendo el valor de la métrica de error. Se realiza entonces una corrida para predecir los datos de esos 4 individuos, se observa la métrica de error establecida y con base en ella se realiza la corrección de los pesos mediante el Backpropagation. Se ejecutan corridas hasta que la métrica de error sea lo más baja posible. Así, este submodelo estaría entrenado y podría recibir datos de nuevos individuos para predecir los valores de los ejercicios.

Ahora bien, con este submodelo se obtendrían los valores para los ejercicios, pero para obtener el valor de las series que es el siguiente dato en la estructura de las rutinas de ejercicios, se debe realizar un submodelo como el que se acaba de explicar, pero ahora la base de datos estaría compuesta también por las series, que pasarían a ser los valores Y y los ejercicios serían un valor X adicional. Se realiza el proceso de aprendizaje como el anterior, donde se predicen las series. Así es como entonces para obtener nuevos datos de series, se ingresarían los datos al submodelo de los ejercicios y luego estos se ingresarían como variables de entrada al siguiente submodelo para predecir las series. Igualmente, se tendría entonces un siguiente submodelo donde se ingresan los datos de los ejercicios y las series obtenidas con los submodelos anteriores y se obtendrían las repeticiones. En ese orden de ideas, se tiene un siguiente submodelo para el tiempo, otro para la distancia, y, por último, uno para la calificación de las fases.

De esta forma se construyó un submodelo para predecir datos correspondientes a ejercicios, series, repeticiones, tiempo, distancia y calificación de la fase para la fase de calentamiento general de los días lunes. De la misma forma se elaboraron los submodelos para obtener las fases de entrenamiento central y vuelta a la calma para el mismo día, y así mismo para los demás días, completando el algoritmo de redes neuronales. Se tiene un submodelo para la calificación de las fases puesto que, bajo esta métrica, se agregan nuevos datos al algoritmo, en donde los nuevos

individuos otorgarían las calificaciones reales y las modificaciones para las rutinas generadas y así obtener resultados más precisos, ya que, en el ámbito de la inteligencia artificial, entre mayor sea la cantidad de datos, mayor calidad y precisión tendrán las predicciones.

Las funciones mencionadas, las métricas de error, la cantidad de datos para el aprendizaje y otros aspectos importantes se definen y justifican en la siguiente sección mediante la programación del algoritmo en el Pseudocódigo de Python.

En este punto cabe aclarar que se utilizaron las redes neuronales de tipo recurrente ya que existe una variable que varía rápidamente con el tiempo que son las opciones del nivel de estado físico. Por ejemplo, se ejecutó el algoritmo para generar una nueva rutina de entrenamiento para un individuo que indicó nunca haber realizado actividad física en su primera semana. Cuando este finalice su segunda semana, la mayoría de las variables permanecerá igual, pero el nivel de estado físico cambia y ahora debe seleccionarse la opción 3 que corresponde a “Ha realizado actividad física, pero solo decidió cambiar de lugar”, la cual permite indicar que ahora el individuo lleva 5 días realizando actividad física 5 veces a la semana.

Utilizando las redes neuronales recurrentes esta variación de los datos del individuo es detectada y realiza de cierta forma un seguimiento a cada individuo, por lo que las rutinas que genere de allí en adelante tendrá en cuenta la continuidad que lleve este con su ciclo de entrenamiento como lo hicieron los instructores al momento de elaborar las rutinas de ejercicios en la recolección de datos; siempre y cuando el individuo sea disciplinado con su proceso de entrenamiento y el instructor tenga en cuenta que debe realizar el cambio de opción en los valores correspondientes al nivel de estado físico del individuo cuando utilice el algoritmo para elaborar nuevas rutinas de ejercicios. Esta observación se tuvo en cuenta en la base de datos, donde se fue variando el nivel de estado físico de los individuos en los vectores de información correspondiente a las variables de cada individuo. Variables como la edad y el porcentaje de grasa corporal igualmente varían con el tiempo, pero cambios significativos en sus valores requiere de lapsos muy extensos.

Por otro lado, se recalca la importancia de utilizar redes neuronales para este caso ya que el algoritmo una vez programado como se explica en la siguiente sección, no se limita a escoger de su base de datos un conjunto de ejercicios de una fase con base en la comparación de las variables de un nuevo individuo y uno de los cuales se recolectó información; sino que con base en todos los datos este define uno a uno los ejercicios, posteriormente las series y los demás parámetros de la rutina de entrenamiento, dejando lugar también para la percepción del individuo con respecto a la rutina generada para corregirse. Así, a medida que se va utilizando, se vuelve más preciso, demostrando la importancia de contar con una amplia y diversa base de datos.

Considerando lo anterior, este algoritmo no arroja rutinas estandarizadas, ya que se cae en un grave error ya que cada individuo es único de acuerdo con el principio de individualidad, y dada la naturaleza de las variables seleccionadas para este caso de estudio, las rutinas de ejercicios para cada persona en un instante dado son diferentes en términos de intensidad y metodologías de entrenamiento.

2.7. PROGRAMACIÓN DEL ALGORITMO

En esta sección se explica cómo se programó el algoritmo de redes neuronales en el Pseudocódigo de Python, explicando los comandos que se utilizaron para su funcionamiento y entrenamiento con la base de datos de la población objetivo para que este pudiera generar nuevas rutinas de ejercicios.

Se utilizó el programa “Anaconda”, que es una distribución de código abierto del lenguaje de programación Python, el cual es ampliamente utilizado en el desarrollo de ciencia de datos. Este programa se descargó en la página oficial Anaconda.org y una vez descargado, se instaló y utilizó el entorno de desarrollo llamado “Spyder” donde se realizó la construcción del algoritmo en su totalidad, pues esta es el más utilizado en el Machine Learning, además de ser recomendado por el director del presente trabajo al poseer una interfaz user-friendly.

2.7.1. IMPORTACIÓN DE LIBRERÍAS Y SET DE DATOS

Figura 4. Importación de librerías y set de datos - Python.

```
# Importando Librerías
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd

# Importando set de datos de las rutinas
dataset = pd.read_csv('DatosPO.csv', sep=';')
X = dataset.iloc[:, 0:47].values
y = dataset.iloc[:, 48].values
```

Fuente: Elaboración propia.

El primer paso para la programación fue importar diferentes módulos (porciones de un programa de ordenador que realiza una o varias tareas) y librerías (es un conjunto de implementaciones funcionales, codificadas en un lenguaje de programación, que ofrece una interfaz bien definida para la funcionalidad que se invoca). Esto facilitó mucho la programación del algoritmo, pues hoy en día los programadores cada vez incursionan más en el campo de la inteligencia artificial y dejan a disposición del público diferentes herramientas para agilizar procesos de desarrollo de algoritmos como las redes neuronales artificiales. En este caso particular, como se ve en la **Figura 4** se utilizaron las siguientes librerías y módulos:

- **NUMPY:** es un paquete de Python que significa “Numerical Python”, es la librería principal para la informática científica, proporciona potentes estructuras de datos, implementando matrices y matrices multidimensionales. Estas estructuras de datos garantizan cálculos eficientes con matrices. (AprendelA, 2019)
- **MATPLOTLIB:** Matplotlib es una librería para generar gráficas a partir de datos contenidos en listas, vectores, en el lenguaje de programación Python y en su extensión matemática NumPy. (Unipython, 2019b)
- **PANDAS:** Pandas es una herramienta de manipulación de datos de alto nivel desarrollada por Wes McKinney. Es construido con el paquete Numpy y su estructura de datos clave es llamada el DataFrame. El DataFrame te permite almacenar y manipular datos tabulados en filas de observaciones y columnas de variables. (Learnpython.org, 2019).

Por otro lado, se utilizó la base de datos construida en secciones anteriores con los datos dispuestos en vectores de 48 valores (columnas) en formato CSV llamado “DatosPO” como se aprecia en la **Figura 4** para importarlo en Python y que el algoritmo realice la lectura de las variables, registros de las rutinas de ejercicios y calificaciones de fase.

A la matriz X se le van a asignar las variables independientes y parámetros del set de datos que tienen impacto en el resultado o salida de nuestra red neuronal, estas se agrupan en el rango de columnas de **(0:47)** como se ve en la **Figura 4**. A la matriz Y se le asignan los valores de la variable que depende de los parámetros y variables de la matriz X, así que solo se selecciona la columna **48** del set de datos, ya que en esta columna es donde se encuentra el valor de las calificaciones de las fases de entrenamiento de las rutinas. Este set de datos contiene los valores numéricos codificados como se explicó en la **Sección 2.6.1**.

2.7.2. DEFINICIÓN DE DATOS DE ENTRENAMIENTO Y DE DATOS DE PRUEBA

Figura 5. Definición de datos de entrenamiento y prueba – Python.

```
#Separacion del set de datos en entrenamiento y prueba
from sklearn.model_selection import train_test_split
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size = 0.2, random_state = 0)

#Normalizacion de los datos
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
sc = StandardScaler()
X_train = sc.fit_transform(X_train)
X_test = sc.transform(X_test)
```

Fuente: Elaboración propia.

Se dividió el set de datos en dos bloques, utilizando el comando **SKLearn**, la cual es una librería gratuita para Python, esta cuenta con algoritmos de clasificación,

regresión, clustering y reducción de dimensionalidad; con la cual se define los datos destinados para el entrenamiento y para la prueba. En este caso se determinó, según el estándar utilizando en RNA, el 20% de los datos para prueba y el 80% de los datos para el entrenamiento del algoritmo (Alcalá, 2019). Por otro lado, como se ve en la **Figura 5** el comando **Random_state** se utiliza para la inicialización de los pesos de los nodos, en este caso empieza con valor de 0, y en el momento en el que se va desarrollando el proceso de entrenamiento cada nodo se va balanceando a partir del resultado y error del mismo. Posteriormente con esta librería se realiza la normalización de los datos de entrenamiento (**X_train**) y de prueba (**X_test**), ya que estos son requisitos de los estimadores de aprendizaje automático.

2.7.3. CREACIÓN DE LA RED NEURONAL ARTIFICIAL

Figura 6. Creación de la red neuronal – Python.

```
#Creacion de la red neuronal
import keras
import tensorflow as tf
from keras.models import Sequential
from keras.layers import Dense

clasificador = Sequential()

clasificador.add (Dense(units=48, kernel_initializer='uniform', activation='relu', input_dim=48))
clasificador.add (Dense(units=40, kernel_initializer='uniform', activation='relu', ))
clasificador.add (Dense(units=30, kernel_initializer='uniform', activation='relu', ))
clasificador.add (Dense(units=1, kernel_initializer='uniform', activation='sigmoid',))
```

Fuente: Elaboración propia.

Luego de normalizar los datos de prueba y entrenamiento se comienza con la programación de la red neuronal para esto se importa la siguiente librería:

- **KERAS:** Keras es una biblioteca de Python minimalista para Deep Learning que puede funcionar sobre Theano o TensorFlow. Fue desarrollada con el objetivo de que los modelos de Deep Learning sean tan rápidos y fáciles tanto para la investigación como el desarrollo. Funciona en Python 2.7 o 3.6 y se puede ejecutar sin problemas sobre las GPU y las CPU. Es libre bajo una licencia del MIT. Keras fue desarrollado por Francois Chollet, un ingeniero de Google que utiliza cuatro principios rectores:
 - ✓ **Modularidad:** Un modelo puede entenderse sólo como una secuencia o como un gráfico. Todas las características de un modelo de aprendizaje profundo son componentes discretos que pueden combinarse de manera arbitraria.

- ✓ **Minimalismo:** La biblioteca proporciona lo justo para lograr un resultado, sin florituras y maximizando la legibilidad.
- ✓ **Extensibilidad:** Los nuevos componentes son intencionalmente fáciles de añadir y usar dentro del marco destinado a que los desarrolladores prueben y exploren nuevas ideas.
- ✓ **Python:** No hay modelos separados con formatos personalizados. Todo es nativo de Python. (Unipython, 2019a)

Para construir la red neuronal (**Figura 6**) se inicia con el modelo secuencial, el cual consiste en agregar capas de neuronas de forma ordenada y para cada capa del modelo fue necesario establecer los siguientes parámetros internos de acuerdo con diferentes referencias bibliográficas:

- **Numero de nodos de la capa (units):** para definir la cantidad de nodos y capas de la red neuronal no hay una técnica única que al ser aplicada nos arroje un desempeño optimo del modelo, sin embargo, existen diferentes métodos empíricos los cuales, según (Heaton, 2013) son:
 - ✓ El número de neuronas en las capas ocultas debe estar entre el rango de número de neuronas de entrada y de salida.
 - ✓ El número de neuronas en las capas ocultas debe ser dos tercios del tamaño de la capa de entrada, más el tamaño de la capa de salida.
- **Distribución de los valores de las capas (Kernel_initializer):** Para la iniciación de los valores de las diferentes capas se utiliza una distribución uniforme de los datos (Calvo, 2018).
- **Función de activación de los nodos (activation):** Para la función de activación de los nodos se van a utilizar dos tipos:
 - ✓ **Rectified Lineal Unit (ReLU):** La función ReLU transforma los valores introducidos anulando los valores negativos y dejando los positivos tal y como entran. (Calvo, 2018)
 - ✓ **Sigmoid:** La función sigmoide transforma los valores introducidos a una escala (0,1), donde los valores altos tienen de manera asintótica a 1 y los valores muy bajos tienden de manera asintótica a 0. (Calvo, 2018)
- **Número de datos de entrada del modelo (input_dim):** Para la inicialización del modelo, el número de nodos que tiene la primera capa es igual al número de datos (variables y rutinas) de entrada del modelo, que en este caso es de 48 valores en total.
- **Número de capas ocultas:** para definir el número de capas ocultas, al igual que el número de nodos, no existe un método único que dé como resultado el desempeño óptimo de la red neuronal, sin embargo, al estructurar 2 capas

ocultas se logró disminuir el error del modelo, a partir de 3 capas el error no disminuyó considerablemente.

2.7.4. MEDICIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA RED NEURONAL

Figura 7. Desempeño de la red neuronal – Python.

```
clasificador.compile(optimizer='adam', loss= 'mean_squared_error', metrics=[tf.keras.metrics.MeanSquaredError()])
```

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, se realizó el proceso de aprendizaje del algoritmo por medio del comando Adam como se ve en la Figura 7, para realizar el Backpropagation con el descenso de gradiente estocástico. Según (Kingma & Ba, 2015) en su artículo donde se realiza una introducción al Adam, que es un algoritmo para la optimización basada en gradientes de primer orden de funciones objetivas estocásticas y estimaciones adaptativas de momentos de orden inferior; este método es computacionalmente eficiente, tiene pocos requisitos de memoria, invariante al reajuste diagonal de gradientes y es muy adecuado para problemas que son grandes en términos de datos/parámetros.

El propósito del parámetro interno “**Loss**” es calcular la cantidad (error) que un modelo debe buscar minimizar durante el entrenamiento, a medida que el modelo vaya realizando su respectivo entrenamiento este parámetro va a disminuir hasta cierto punto. Para evaluar el desempeño o rendimiento del modelo se utiliza el parámetro interno “**metrics**”, cuyas funciones métricas son similares a las funciones de pérdida, excepto que los resultados de evaluar una métrica no se utilizan al entrenar el modelo. Para medir el desempeño del modelo se utilizó el error cuadrático medio (**Mean Squared Error, MSE**), el cual mide el error cuadrático medio entre el valor real (**Y_true**) y el valor predicho (**Y_pred**).

2.7.5. DEFINICIÓN DE TAMAÑOS DE LOTE Y CICLOS DEL MODELO

Figura 8. Tamaño de lotes y ciclos – Python.

```
#ajustando red neuronal para el proceso de entrenamiento  
clasificador.fit(X_train, y_train, batch_size=30, epochs=200)
```

Fuente: Elaboración propia.

Se debe definir el tamaño de lote (**batch_size**) y los ciclos o corridas generales del modelo (**epochs**). El tamaño de lote hace referencia a la cantidad de muestras que se deben procesar antes de actualizar los parámetros internos del modelo y el epoch hace referencia a el número de veces que el algoritmo de aprendizaje funcionará en

CAPÍTULO 3: VALIDACIÓN DE RESULTADOS DEL ALGORITMO

El objetivo de este capítulo es validar los resultados que se obtuvieron del algoritmo una vez este fue programado y alimentado con los datos recolectados en el capítulo anterior, desde una evaluación de 180 grados (usuario-experto), verificando en primera instancia la correcta prescripción de ejercicios en las rutinas resultantes para su posterior ejecución, calificación y análisis.

3.1 METODOLOGÍA

En la **Tabla 16** se describe la metodología para el desarrollo del capítulo 3.

Tabla 16. Metodología del capítulo 3.

No.	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN Y HERRAMIENTAS
1	Prueba piloto	Se seleccionaron nuevos individuos para para obtener planes de acondicionamiento generados por el algoritmo programado. Se verificó que se cumplieran las restricciones en la prescripción de ejercicios por cada individuo y cada uno realizó la rutina asignada, otorgando la calificación pertinente.
2	Discusión de resultados.	Se condensó la información de las calificaciones y se realizó una reunión con el grupo de expertos para socializar los resultados de las primeras rutinas obtenidas por el algoritmo y su percepción sobre la eficiencia de este a la hora de elaborar los planes de acondicionamiento físico personalizados.

Fuente: *Elaboración propia.*

3.2. PRUEBA PILOTO

Una vez el algoritmo fue programado y alimentado con los datos de la población objetivo, se seleccionaron nuevos individuos para recolectar su información con respecto a las variables seleccionadas, utilizando el mismo formato de inscripción. Debido a la pandemia del COVID-19, el proceso de realizar las rutinas generadas por el algoritmo se retardó hasta junio de 2020 dadas las restricciones impuestas por el Gobierno Nacional. Sin embargo, una vez establecidos los protocolos de bioseguridad y con la ayuda del grupo de expertos para obtener acceso a las instalaciones de diferentes centros de acondicionamiento físico de la ciudad de Buga, los individuos seleccionados lograron ejecutar las rutinas de ejercicios generadas por el algoritmo de redes neuronales programado. La recolección de datos finalizó durante los últimos días de julio de 2020.

3.2.1. SELECCIÓN DE NUEVOS INDIVIDUOS

Este nuevo grupo de individuos estuvo conformado por 20 usuarios de distintos centros de acondicionamiento de la ciudad de Buga, además del escenario seleccionado. Además de estos 20 individuos, se incluyeron dentro de esta fase de

prueba a los 10 expertos del grupo de trabajo conformado para este proyecto y que estos realizaran una validación con conocimiento de causa, completando así un grupo de 30 individuos para esta prueba piloto del algoritmo de redes neuronales, llamado “Población prueba piloto”.

3.2.2. GENERACIÓN DE NUEVAS RUTINAS Y RECOLECCIÓN DE DATOS

Posteriormente, y siguiendo el mismo procedimiento que se explicó en la **Sección 2.5.**, se les entregó el formato de inscripción elaborado en la **Sección 1.5.** para recolectar la información correspondiente a las variables de los nuevos individuos. En el archivo de Excel adjunto “**RECOLECCIÓN DE DATOS**”, en la pestaña “**DATOS INDIVIDUOS - PP**” se encuentra la información detallada correspondiente a las variables de esta nueva población.

Luego esta información fue introducida al algoritmo de redes neuronales para obtener los planes de acondicionamiento físico personalizados cada semana para cada individuo como se explicó en la **Sección 2.6.2.** Estas nuevas rutinas de ejercicios se registraron y condensaron en una nueva base de datos siguiendo la misma estructura de la **Sección 2.5.4.** Cada semana se les entregó a los individuos un formato de recolección de datos elaborado en la **Sección 2.5.1.** para obtener las calificaciones de estas nuevas rutinas por parte de los individuos completando esta nueva base de datos.

3.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Luego de recolectar los datos correspondientes a 8 rutinas de ejercicios diferentes para 30 individuos, estos fueron condensados en una base de datos de Excel donde se registraron igualmente las rutinas generadas por el algoritmo, las calificaciones y correcciones, ya que estos datos posteriormente fueron agregados a la base de datos del algoritmo y hacerlo más preciso para futuras corridas, pues la piedra angular de la inteligencia artificial son los datos, y entre mayor sea la cantidad de datos que se disponga, más precisos serán los resultados.

En total se obtuvieron 240 nuevas rutinas de ejercicios de una semana, las cuales fueron revisadas por los expertos verificando la correcta prescripción de ejercicios antes de ejecutarlas. El 91,67 % de las rutinas generadas por el algoritmo fueron acertadas en cuanto a este criterio, realizando leves cambios en los parámetros establecidos (ejercicios, series, repeticiones, tiempo y distancia). En cuanto a la variación del trabajo, es decir, implementación de diferentes metodologías de entrenamiento, se obtuvo que para cada individuo efectivamente se plantearon todas las metodologías descritas en el capítulo anterior, al menos una vez.

Tabla 17. Resumen de calificaciones individuos.

INDIVIDUO	CALIFICACIÓN										%RE
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	0	0	0	5	97	6	0	0	0	0	89,81%
2	0	0	0	4	90	10	4	0	0	0	83,33%
3	0	0	0	6	97	5	0	0	0	0	89,81%
4	0	0	0	3	98	7	0	0	0	0	90,74%
5	0	0	0	4	101	2	1	0	0	0	93,52%
6	0	0	0	3	95	10	0	0	0	0	87,96%
7	0	0	0	9	98	1	0	0	0	0	90,74%
8	0	0	4	0	104	0	0	0	0	0	96,30%
9	0	0	0	3	97	8	0	0	0	0	89,81%
10	0	0	4	2	101	1	0	0	0	0	93,52%
11	0	0	0	1	107	0	0	0	0	0	99,07%
12	0	0	3	1	104	0	0	0	0	0	96,30%
13	0	0	3	2	100	3	0	0	0	0	92,59%
14	0	0	0	7	99	2	0	0	0	0	91,67%
15	0	0	3	2	99	4	0	0	0	0	91,67%
16	0	0	0	4	97	7	0	0	0	0	89,81%
17	0	0	2	4	95	7	0	0	0	0	87,96%
18	0	0	1	2	101	3	1	0	0	0	93,52%
19	0	0	1	4	97	6	0	0	0	0	89,81%
20	0	0	0	8	94	6	0	0	0	0	87,04%
TOTAL	0	0	21	74	1971	88	6	0	0	0	
% TOTAL	0,00%	0,00%	0,97%	3,43%	91,25%	4,07%	0,28%	0,00%	0,00%	0,00%	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Resumen de calificaciones expertos.

INDIVIDUO	CALIFICACIÓN										%RE
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
21	0	0	3	4	100	1	0	0	0	0	92,59%
22	0	0	0	0	108	0	0	0	0	0	100,00%
23	0	0	2	3	103	0	0	0	0	0	95,37%
24	0	0	0	5	99	4	0	0	0	0	91,67%
25	0	0	0	3	100	5	0	0	0	0	92,59%
26	0	0	0	4	104	0	0	0	0	0	96,30%
27	0	0	0	1	106	1	0	0	0	0	98,15%
28	0	0	0	3	100	5	0	0	0	0	92,59%
29	0	0	0	4	100	4	0	0	0	0	92,59%
30	0	0	0	3	99	6	0	0	0	0	91,67%
TOTAL	0	0	5	30	1019	26	0	0	0	0	
%	0,00%	0,00%	0,46%	2,78%	94,35%	2,41%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	

Fuente: Elaboración propia.

Una vez ejecutadas las rutinas y obtenidas las calificaciones de las fases por cada día de cada semana, se condensó la información en la **Tabla 17**, que resume las calificaciones dadas por los 20 individuos usuarios de los centros de acondicionamiento físico y la **Tabla 18** que resumen la información, pero del grupo de expertos. Los datos se obtuvieron de la siguiente manera: cada día de la rutina tiene 3 fases la cual debía ser calificada por el individuo que la ejecuta, cada semana tiene 5 días y en total fueron 8 semanas. Sin embargo, dada la condición de que cada dos semanas los viernes se realizan clases grupales y la calificación la debe otorgar el instructor a cargo, al total de días se le resta un valor de 4. Así, el total de calificaciones por individuo es de 108. La columna “%RE” corresponde al porcentaje de calificaciones excelente (valor de 5) que se obtuvieron por individuo.

Analizando los datos de la **Tabla 17**, se encuentra que el rango de calificaciones es de 3 a 7, donde el mayor porcentaje está concentrado en el 5, con un total de 91,25% de las 2160 calificaciones. El individuo 3 presenta el %RE más bajo de este grupo con un 83,33%. Los individuos 8, 10 y 13 padecen de hipertensión y, por ende, se les prestó mayor atención en el proceso. En sus casos, se obtuvo %RE mayor al 90% y, particularmente, se observa que fueron los individuos con más fases calificadas por debajo de 5, debido a que consideraron que varias de sus rutinas fueron livianas con respecto al número de series y repeticiones. En general, los individuos expresaron que las rutinas diseñadas fueron adecuadas para sus condiciones particulares y favorables para su estado de salud y aptitud física.

Por otro lado, en la **Tabla 18**, se encuentra que el rango de calificaciones es de 3 a 6, donde igualmente el mayor porcentaje de las calificaciones está concentrado en el 5, con un total 94,35% de las 1080 calificaciones. En este caso, se destaca que el individuo 2 obtuvo un %RE de 100%. Esto se debe a que este individuo es el experto que participó en la primera recolección de datos, y dado que la base de datos del algoritmo fue alimentada con sus datos corregidos, se puede apreciar que las correcciones sugeridas fueron acertadas. Igualmente, los expertos expresaron que las rutinas diseñadas fueron acertadas.

Cabe mencionar que igualmente se calculó el error cuadrático medio para las calificaciones otorgadas por el algoritmo y las que expresaron los individuos de la población prueba piloto, donde se obtuvo un valor de 0,126; lo cual se considera un buen resultado ya que, en general, los valores predichos por el algoritmo no se encuentran alejados del valor real.

Ahora bien, en términos de las calificaciones otorgadas por los instructores cada 2 semanas los viernes, en resumen, los individuos comenzaron con un rendimiento regular en los diferentes test planteados, debido a que durante el periodo de cuarentena causado por la pandemia del COVID-19 dejaron sus hábitos de actividad física. Sin embargo, al final del ciclo de entrenamiento de 8 semanas todos los individuos lograron obtener un buen rendimiento en el test aplicado el último viernes.

El equipo de trabajo junto con el grupo de expertos consideró que los resultados obtenidos fueron satisfactorios, más aún cuando la primera prueba piloto además de validar el buen funcionamiento del algoritmo, permitió obtener más datos para alimentar el algoritmo y, en un futuro, obtener planes de acondicionamiento físico más acertados. Al finalizar esta etapa se agregaron al algoritmo 19.758 filas de datos más, contando en total con 32.141 filas de datos.

En este caso particular, la validación del algoritmo se realizó con base en las percepciones tanto de clientes como de instructores (expertos) de centros de acondicionamiento físico, puesto que en el campo del entrenamiento deportivo los individuos que realizan las diferentes actividades físicas, pueden definir si realmente los planes de acondicionamiento físico están siendo efectivos con base en su experiencia directa y conocimiento de causa, su estado de salud y su sensación de bienestar finalizadas las sesiones de entrenamiento (principio de la individualidad).

Igualmente se tomó en cuenta la percepción de los instructores utilizando los tests que se han mencionado a lo largo del trabajo, pues con base en ellos se define si las rutinas de ejercicios son adecuadas o si se requiere hacer modificaciones a los planes, aunque para este caso, los instructores que conformaron el grupo de expertos participó activamente como parte del grupo de individuos de la prueba piloto, ejecutando las rutinas de ejercicios diseñadas por el algoritmo y otorgando su percepción como se planteó en la etapa de recolección de datos.

Cabe aclarar que métricas como el porcentaje de grasa corporal de los individuos no se utilizaron para validar la efectividad del algoritmo, ya que este, por ejemplo, si bien da una perspectiva general de las capacidades físicas y el estado de salud real del individuo, es un valor que no varía solamente con respecto a las rutinas de ejercicios que este ejecute, sino también de acuerdo a la alimentación y la continuidad con las que el individuo realice actividad física; además de ser un valor que requiere mucho más que 8 semanas para observar un cambio significativo.

Por último, como se especificó al inicio del proyecto no se busca reemplazar a los instructores en su labor, pues aún en el proceso de recolección de datos y la prueba piloto, fue necesaria su presencia para ayudar a los individuos a corregir posturas, para el manejo de cargas e, incluso, recordar la correcta ejecución de diferentes ejercicios. No obstante, se valida en el presente capítulo que la herramienta resultante efectivamente es un instrumento de gran apoyo para la toma de decisiones de los instructores, que tiene un grado considerable de confiabilidad en términos de prescripción de ejercicios utilizando, además, una gran cantidad de datos pertinentes para el proceso de elaboración de planes de acondicionamiento físico y que toma en cuenta diversas variables de interés que han aplicado durante su labor como instructores y entrenadores deportivos.

CONCLUSIONES

La selección de las variables de entrada del algoritmo se realizó de manera satisfactoria gracias a la sólida base teórica proporcionada y resumida por el grupo de expertos, con quienes se logró conformar un grupo de trabajo multidisciplinario que involucró el punto de la ingeniería, el cual permitió identificar por medio de las descripción del proceso de elaboración de los planes de acondicionamiento físico personalizados, las variables que de un modo u otro influyen en la decisión final del diseño de estos y que, además, fueran pertinentes para el caso de estudio, pues algunas fueron descartadas por motivos explicados en la primera fase del proyecto.

El diseño y programación del algoritmo de redes neuronales recurrentes fue posible gracias a la correcta identificación de los parámetros y valores objetivos para el caso de estudio particular, a la recolección de datos con una población lo suficientemente heterogénea en términos de las variables seleccionadas y una cantidad de datos adecuadas para el entrenamiento de un algoritmo de inteligencia artificial; que seguirá alimentándose con datos a medida que se obtengan, lo cual favorecerá enormemente los resultados posteriores que este genere en el futuro.

A pesar de los imprevistos causados por la reciente pandemia del COVID-19, la fase de prueba piloto con la cual se validó el eficiente funcionamiento del algoritmo, se llevó a cabo en condiciones normales implementando los diferentes protocolos de bioseguridad establecidos por el Gobierno Nacional. Con resultados positivos desde la percepción de los individuos con conocimiento de causa, del grupo de expertos de la misma manera y desde su vasto conocimiento y experticia en el campo del entrenamiento deportivo. Además, con base en las métricas establecidas, se concluyó que la primera prueba piloto fue un éxito.

Trabajar con un grupo de expertos en este caso fue una opción bastante acertada, pues tanto el campo de las ciencias de la salud, específicamente del entrenamiento deportivo, y el campo de la inteligencia artificial, generalmente son poco explorados por ingenieros industriales, pero como bien se expresa en las primeras líneas de la introducción, estos últimos tienen la facilidad de involucrarse con profesionales de distintas áreas con el ánimo de obtener una solución satisfactoria y, en este caso, innovadora; una herramienta útil creada con robustas bases de conocimientos de todo el equipo de trabajo. Cabe mencionar que se seguirá desarrollando la herramienta incorporando más datos y, especialmente, diseñando una aplicación con una interfaz user-friendly, para su posterior distribución y venta.

El mundo es dinámico, está en constante cambio, y una de las principales motivaciones para la realización de este trabajo fue la notoria tendencia que se está presentando en las empresas tanto de manufactura como de servicios de cualquier dominio y en el ámbito del desarrollo de nuevas tecnologías; el uso de la Big Data y la aplicación del DataScience, Machine Learning y la Inteligencia Artificial para resolver problemas y crear herramientas que faciliten la toma de decisiones en un

ambiente donde la virtualidad toma cada vez más fuerza, más aún con la situación actual que está viviendo la humanidad a causa de la pandemia. El mundo va en esa dirección, pues hoy en día se crean y se puede acceder fácilmente a una gran cantidad de datos, así como al conocimiento necesario para incursionar en la inteligencia artificial de manera autónoma, procesando dichos datos para crear alternativas más precisas e innovadoras de soluciones a diversos problemas. En la actualidad, por ejemplo, el uso de las band-fit se ha generalizado en los gimnasios y esta podría ser una gran herramienta para monitorear en tiempo real diferentes variables, lo que constituye una fuente de datos y análisis interesantes dentro del campo del internet de las cosas (Internet Of Things).

Por último, se recomienda para futuros trabajos incluir en el desarrollo del algoritmo, una variable que permita seleccionar dos tipos de planes de acondicionamiento físico personalizado, con la cual se decida si la rutina de ejercicios resultante será para ejecutarse en un centro de acondicionamiento físico o para ejecutarlas en casa, utilizando una base de datos con rutinas del segundo tipo, ya que durante la pandemia del COVID-19 la personas se vieron obligadas a permanecer en cuarentena durante mucho tiempo, pero deseaban seguir con sus hábitos de actividad física; por lo cual los instructores optaron por dictar clases virtuales con ejercicios que se pudieran ejecutar sin la necesidad de la maquinaria e instalaciones con las que comúnmente cuentan los centros de acondicionamiento físico y, aun así, mantener un sano estado de salud y conservar su aptitud física. Con ello, queda en evidencia la relevancia el desarrollo de aplicaciones con dicha tecnología, pues las tecnologías actuales no permiten obtener resultados considerando tantas variables que son pertinentes para el caso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcalá, U. de. (2019). Scikit-Learn, herramienta básica para el Data Science en Python. Recuperado el 29 de agosto de 2020, de <https://www.master-data-scientist.com/scikit-learn-data-science/>
- AprendeIA. (2019). Introducción a la librería NumPy de Python - Parte 1 -  Aprende IA. Recuperado el 9 de octubre de 2020, de <https://aprendeia.com/introduccion-a-numpy-python-1/>
- Balbín, J. (2020). Resistencia Cardiovascular - Condición Física. Recuperado el 26 de agosto de 2020, de <https://condicionfisica.es/resistencia-cardiovascular/>
- Bonidia, R. P., Rodrigues, L. A. L., Avila-santos, A. P., Sanches, D. S., & Brancher, J. D. (2018). Computational Intelligence in Sports: A Systematic Literature Review. *arXiv Artificial Intelligence*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/3426178>
- Borg, G. (1990). Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 16(SUPPL. 1), 55–58. <https://doi.org/10.5271/sjweh.1815>
- Brownlee, J. (2018). Difference Between a Batch and an Epoch in a Neural Network. Recuperado el 9 de octubre de 2020, de <https://machinelearningmastery.com/difference-between-a-batch-and-an-epoch/>
- Burkhalter, N. (1996). EVALUACIÓN DE LA ESCALA BORG DE ESFUERZO PERCIBIDO APLICADA A LA REHABILITACIÓN CARDÍACA. *Rev.latino-am.enfermagem*, 6(4), 65–73. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S0104-11691996000300006>
- Cabero Almenara, J. (2013). Formación del profesorado universitario en TIC. aplicación del método Delphi para la selección de los contenidos formativos. *Educacion XX1*, 17(1), 111–131. <https://doi.org/10.5944/educxx1.17.1.10707>
- Cabezón, M. (2018). Implementación de redes neuronales recurrentes en Python.
- Calvo, D. (2018). Función de activación - Redes neuronales - Diego Calvo. Recuperado el 9 de octubre de 2020, de <https://www.diegocalvo.es/funcion-de-activacion-redes-neuronales/#:~:text=ReLU – Rectified Lineal Unit,positivos tal y como entran.>
- Dávila, A. (2015). Planificación y Prescripción del Ejercicio Físico en poblaciones no deportistas, 1–29.
- Fister, I., Ljubič, K., Suganthan, P. N., Perc, M., & Fister, I. (2015). Computational intelligence in sports: Challenges and opportunities within a new research domain. *Applied Mathematics and Computation*, 262, 178–186. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2015.04.004>
- Fister, I., Rauter, S., Yang, X. S., Ljubič, K., & Fister, I. (2015). Planning the sports training sessions with the bat algorithm. *Neurocomputing*, 149(PB), 993–1002. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2014.07.034>
- Guridi, G. (Universidad A. de M. (2017). MODELOS DE REDES NEURONALES RECURRENTES EN CLASIFICACIÓN DE PATENTES. *Universidad*

Autónoma de Madrid.

- Heaton, J. (2013). *Introduction to Neural Networks with Java* (Vol. 99).
- Irala, L. (2018). La fuerza en Educación Física - Escolar - ABC Color. Recuperado el 26 de agosto de 2020, de <https://www.abc.com.py/edicion-impres/suplementos/escolar/la-fuerza-en-educacion-fisica-1713709.html>
- Kingma, D. P., & Ba, J. L. (2015). Adam: A method for stochastic optimization. *3rd International Conference on Learning Representations, ICLR 2015 - Conference Track Proceedings*, 1–15.
- Kumyaito, N., Yupapin, P., & Tamee, K. (2018). Planning a sports training program using Adaptive Particle Swarm Optimization with emphasis on physiological constraints. *BMC Research Notes*, 11(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/s13104-017-3120-9>
- LBDC. (2018). Fuerza y resistencia muscular, ¿qué debes saber? Recuperado el 26 de agosto de 2020, de <https://www.sport.es/labolsadelcorredor/fuerza-y-resistencia-muscular/>
- Learnpython.org. (2019). Pandas Basics - Learn Python - Free Interactive Python Tutorial. Recuperado el 29 de agosto de 2020, de [https://www.learnpython.org/es/Pandas Basics](https://www.learnpython.org/es/Pandas%20Basics)
- Meza, L. (2019). Colombia: Así crecen los negocios fitness en Cali | América Retail. Recuperado el 17 de enero de 2019, de <https://www.america-retail.com/colombia/colombia-asi-crecen-los-negocios-fitness-en-cali/>
- Nicolaus, M., Christine, J., & Klaus, O. (2015). Fundamentos del Entrenamiento deportivo. Leyes y Principios Biológicos y Pedagógicos aplicables a la Educación Física, Deporte y Ejercicio Físico, 1–28.
- Organización Mundial de la Salud. (2018). Actividad física. Recuperado el 23 de febrero de 2018, de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/physical-activity>
- Pfeiffer, M., & Hohmann, A. (2012). Applications of neural networks in training science. *Human Movement Science*, 31(2), 344–359. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2010.11.004>
- Przednowek, K., Iskra, J., Wiktorowicz, K., Krzeszowski, T., & Maszczyk, A. (2017). Planning Training Loads for the 400 M Hurdles in Three-Month Mesocycles Using Artificial Neural Networks. *Journal of Human Kinetics*, 60(1), 175–189. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0101>
- Ramírez, S. (2014). Somatocarta: Composición corporal y rendimiento deportivo | BuenaForma Entrenador Personal Villagarcía. Recuperado el 10 de agosto de 2020, de <http://www.buenaforma.org/2014/02/25/somatocarta-composicion-corporal-y-rendimiento-deportivo/>
- Ramón, J., Elvar, H., García-orea, G. P., Mata, F., Donate, F. I., & Martín, C. (2014). Nuevo paradigma para la selección de los ejercicios de fuerza en programas de acondicionamiento físico para la salud. *PubliCE Standard*, 1–11.
- Rashid, T. (2016). Make Your Own Neural Network-CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Unipython. (2019a). Introducción y como Instalar Keras en Python Anaconda - ▷

Cursos de Programación de 0 a Experto © Garantizados. Recuperado el 29 de agosto de 2020, de <https://unipython.com/introduccion-y-como-instalar-keras-anaconda/>

Unipython. (2019b). Matplotlib: Funciones principales - ▷ Cursos de Programación de 0 a Experto © Garantizados. Recuperado el 29 de agosto de 2020, de <https://unipython.com/matplotlib-funciones-principales/>

Weineck, J., & Derrickson, G. (2015). METODOLOGÍA DEL ENTRENAMIENTO DEPORTIVO. Análisis acciones musculares., 141–144.

ANEXOS

Anexo 1. Formulario de variables.

FORMATO DE INSCRIPCIÓN

Diligenciando el siguiente documento, usted formará parte del equipo objetivo que será la piedra angular para la elaboración del algoritmo de inteligencia artificial que revolucionará la industria del fitness. A continuación, se encuentra la primera serie de datos que se necesitan para comenzar con el proceso que corresponde a la segunda fase de este gran proyecto, por favor escríbalos con la letra más clara que le sea posible, sin tachone ni enmendaduras. Al final, en el espacio seleccionado, con su firma aceptará el compromiso que implica este proyecto que tiene una duración de 8 semanas.

NOMBRE COMPLETO: _____

EDAD: _____ **SEXO:** _____ **PORCENTAJE DE GRASA CORPORAL:** _____

Para obtener el dato de grasa corporal, por favor solicítele al instructor encargado que tome sus medidas antropométricas y diligencie el formato correspondiente que arrojará automáticamente el dato.

NIVEL DE ESTADO FÍSICO

Por favor seleccione con una X solamente una de las siguientes 3 opciones, luego escriba la información solicitada por la opción seleccionada. Los datos de tiempo deben especificarse en días:

1. **NUNCA HA HECHO ACTIVIDAD FÍSICA** _____
2. **HA REALIZADO ACTIVIDAD FÍSICA, PERO DEJÓ DE HACERLA POR UN TIEMPO** _____
 - **TIEMPO QUE LLEVABA REALIZANDO ACTIVIDAD FÍSICA** _____
 - **TIEMPO DE SUSPENSIÓN DE LA ACTIVIDAD FÍSICA** _____
 - **No. VECES EN LA SEMANA QUE REALIZABA ACTIVIDAD FÍSICA** _____
3. **HA REALIZADO ACTIVIDAD FÍSICA, PERO SOLAMENTE DECIDIÓ CAMBIAR DE LUGAR** _____
 - **No. VECES EN LA SEMANA QUE REALIZABA ACTIVIDAD FÍSICA** _____
 - **TIEMPO QUE LLEVA REALIZANDO ACTIVIDAD FÍSICA** _____

ENFERMEDADES TRANSMISIBLES O ADQUIRIDAS

Por favor ponga una X en el espacio si usted padece una o varias de las siguientes enfermedades transmisibles:

1. **HIPERTENSIÓN** _____ 2. **DIABETES** _____ 3. **COLESTEROL** _____

HISTORIAL DE LESIONES

Por favor ponga una X en el espacio si usted ha sufrido alguna vez una o varias de las siguientes lesiones articulares:

1. **Hombro** _____ 2. **Codo** _____ 3. **Muñeca** _____ 4. **Clavícula** _____ 5. **Cadera** _____
6. **Rodilla** _____ 7. **Tobillo** _____ 8. **Columna** _____

Por favor ponga una X en el espacio si usted ha sufrido alguna vez una o varias de las siguientes lesiones articulares:

1. **Trapezio** _____ 2. **Deltoides** _____ 3. **Tríceps** _____ 4. **Bíceps** _____ 5. **Antebrazo** _____
6. **Pectoral** _____ 7. **Abdominal** _____ 8. **Dorsal** _____ 9. **Lumbar** _____ 10. **Glúteo** _____
11. **Cuádriceps** _____ 12. **Isquiosurales** _____ 13. **Gastrocnemios** _____ 14. **Tibiales** _____

HORARIO DE ENTRENO

Por favor seleccione con una X el horario en el que realizará su rutina de entrenamiento:

1. **Mañana** _____ 2. **Tarde** _____ 3. **Noche** _____

FIRMA DEL INSCRITO

Anexo 2. Formato de inscripción diligenciado.

FORMATO DE INSCRIPCIÓN

Diligenciando el siguiente documento, usted formará parte del equipo objetivo que será la piedra angular para la elaboración del algoritmo de inteligencia artificial que revolucionará la industria del fitness. A continuación, se encuentra la primera serie de datos que se necesitan para comenzar con el proceso que corresponde a la segunda fase de este gran proyecto, por favor escríbalos con la letra más clara que le sea posible, sin tachones ni enmendaduras. Al final, en el espacio seleccionado, con su firma aceptará el compromiso que implica este proyecto que tiene una duración de 8 semanas.

NOMBRE COMPLETO: Eliona Jimenez Betancourt

EDAD: 36

SEXO: F

PORCENTAJE DE GRASA CORPORAL: 30%

Para obtener el dato de grasa corporal, por favor solicítele al instructor encargado que tome sus medidas antropométricas y diligencie el formato correspondiente que arrojará automáticamente el dato.

NIVEL DE ESTADO FÍSICO

Por favor seleccione con una X solamente una de las siguientes 3 opciones, luego escriba la información solicitada por la opción seleccionada. Los datos de tiempo deben especificarse en días:

1. NUNCA HA HECHO ACTIVIDAD FÍSICA
2. HA REALIZADO ACTIVIDAD FÍSICA, PERO DEJÓ DE HACERLA POR UN TIEMPO X
 - TIEMPO QUE LLEVABA REALIZANDO ACTIVIDAD FÍSICA 3650
 - TIEMPO DE SUSPENSIÓN DE LA ACTIVIDAD FÍSICA 365
 - No. VECES EN LA SEMANA QUE REALIZABA ACTIVIDAD FÍSICA 5
3. HA REALIZADO ACTIVIDAD FÍSICA, PERO SOLAMENTE DECIDIÓ CAMBIAR DE LUGAR
 - No. VECES EN LA SEMANA QUE REALIZABA ACTIVIDAD FÍSICA
 - TIEMPO QUE LLEVA REALIZANDO ACTIVIDAD FÍSICA

ENFERMEDADES TRANSMISIBLES O ADQUIRIDAS

Por favor ponga una X en el espacio si usted padece una o varias de las siguientes enfermedades transmisibles:

1. HIPERTENSIÓN X 2. DIABETES 3. COLESTEROL

HISTORIAL DE LESIONES

Por favor ponga una X en el espacio si usted ha sufrido alguna vez una o varias de las siguientes lesiones articulares:

1. Hombro 2. Codo 3. Muñeca 4. Clavícula 5. Cadera X
6. Rodilla 7. Tobillo 8. Columna X

Por favor ponga una X en el espacio si usted ha sufrido alguna vez una o varias de las siguientes lesiones articulares:

1. Trapecio 2. Deltoides 3. Tríceps 4. Bíceps 5. Antebrazo
6. Pectoral 7. Abdominal 8. Dorsal 9. Lumbar X 10. Glúteo
11. Cuádriceps 12. Isquiosurales 13. Gastrocnemios 14. Tibiales

HORARIO DE ENTRENO

Por favor seleccione con una X el horario en el que realizará su rutina de entrenamiento:

1. Mañana X 2. Tarde 3. Noche

Eliona J Betancourt

FIRMA DEL INSCRITO

Escaneado con CamScanner

Anexo 3. Formulario de recolección de datos – Página 1.

FORMATO DE REGISTRO DE DATOS

Este formato debe ser diligenciado cada día después de haber realizado su respectiva rutina de ejercicios, calificando de forma general cada fase de la misma: Calentamiento General, Entrenamiento Central y Vuelta a la Calma. Para calificarlas, debe hacerlo considerando la escala de Borg:

CRITERIO DE CALIFICACIÓN		
1	EXCESIVAMENTE LIVIANO	
2		
3	LIVIANO	
4		
5	EXCELENTE (NI LIVIANO, NI PESADO)	
6	ALGO PESADO	
7	PESADO	
8		
9	EXCESIVAMENTE PESADO	
10		

Dependiendo de cómo te hayas sentido en la fase del entrenamiento **con respecto a la cantidad de series y repeticiones** en general, debes seleccionar un número. **Ejemplo:** Si en el *Entrenamiento Central*, sentiste que fueron demasiadas repeticiones o series o, en general, fue un entrenamiento bastante fuerte, debes colocar en las casillas de evaluación del día un 9 o un 10. Si sentiste que la rutina fue ideal, debes colocar un 5, y así sucesivamente.

De acuerdo con esta calificación, en la casilla de observaciones debes colocar una sugerencia con respecto a la cantidad de series y repeticiones siendo coherente con la calificación. Es decir, si sentiste que fueron muchas repeticiones y calificaste el entrenamiento central con un 10, en la casilla de observaciones correspondiente deberías colocar con cuántas repeticiones o series de un ejercicio específico, este hubiera sido un entrenamiento ideal. **Por ejemplo:** si te colocaron a realizar dentro de tu rutina 4 series de 15 repeticiones de sentadillas, puedes sugerir que se hagan 3 series de 20 repeticiones o 4 series de 10 repeticiones. Esto lo puedes hacer con tu instructor para hacer una sugerencia más objetiva.

Con respecto a las cargas que manejes en tus entrenamientos, recuerda que deben ser moderadas y que estás las defines con tu instructor, por lo tanto, en las observaciones no se hacen sugerencias con respecto a las cargas, ya que depende de cada individuo el peso que desee o pueda manejar en sus ejercicios.

Recuerda calificar muy objetivamente y de acuerdo con las instrucciones, pues de ti depende que este proyecto sea un éxito. **¡Muchas gracias por ser parte del proyecto!**

Anexo 4. Formato de recolección de datos – Página 2.

NOMBRE COMPLETO: _____

No. SEMANA: _____ **FECHA INICIO:** _____ **FECHA FIN:** _____

EVALUACIÓN			
DÍA	FASE DE LA RUTINA DEL EJERCICIO	CALIFICACIÓN	OBSERVACIÓN
LUNES	Calentamiento general		
	Entrenamiento central		
	Vuelta a la calma		
MARTES	Calentamiento general		
	Entrenamiento central		
	Vuelta a la calma		
MIÉRCOLES	Calentamiento general		
	Entrenamiento central		
	Vuelta a la calma		
JUEVES	Calentamiento general		
	Entrenamiento central		
	Vuelta a la calma		
VIERNES			

Cada dos semanas, los viernes, tu instructor realizará pruebas de acondicionamiento para verificar si las rutinas de ejercicios que ha seleccionado para ti han sido adecuadas. Los espacios de este día serán diligenciados por él con los nombres de las pruebas y la calificación desde su punto de vista. Tu instructor te calificará de 1 a 5, donde 1 es un desempeño malo y 5 es un desempeño excelente.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 5. Formato de recolección de datos (página 2) diligenciado.

NOMBRE COMPLETO: Eliana Jimenez Betancour

No. SEMANA: 1 **FECHA INICIO:** 06-01-2020 **FECHA FIN:** 10-01-2020

EVALUACIÓN			
DÍA	FASE DE LA RUTINA DEL EJERCICIO	CALIFICACIÓN	OBSERVACIÓN
LUNES	Calentamiento general	5	
	Entrenamiento central	7	Disminuir 6 series de sentadilla libre, sentadilla libre con salto y flexiones de brazo; Disminuir 10 repeticiones a escaladores por pinya y skipping.
	Vuelta a la calma	5	
MARTES	Calentamiento general	5	
	Entrenamiento central	5	
	Vuelta a la calma	5	
MIÉRCOLES	Calentamiento general	5	
	Entrenamiento central	5	
	Vuelta a la calma	5	
JUEVES	Calentamiento general	5	
	Entrenamiento central	5	
	Vuelta a la calma	5	
VIERNES	Calentamiento general	5	
	Entrenamiento central	5	
	Vuelta a la calma	5	

Cada dos semanas, los viernes, tu instructor realizará pruebas de acondicionamiento para verificar si las rutinas de ejercicios que ha seleccionado para ti han sido adecuadas. Los espacios de este día serán diligenciados por él con los nombres de las pruebas y la calificación desde su punto de vista. Tu instructor te calificará de 1 a 5, donde 1 es un desempeño malo y 5 es un desempeño excelente.