

## PROPUESTA PARA PROYECTO DE GRADO

### TÍTULO

Segmentación del tejido adiposo en la región parafaríngea.

### OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar una solución computacional de carácter semiautomática para segmentar el tejido adiposo de la región parafaríngea con una precisión de al menos el 85%.

### ESTUDIANTE(S)

#### David Alejandro Castillo Chiquiza

|                  |                |                      |  |
|------------------|----------------|----------------------|--|
| <b>Documento</b> | <b>Celular</b> | <b>Teléfono fijo</b> | <b>Correo Javeriano</b>  |
| cc. 1032508915   | 312-894-7379   | -                    | <a href="mailto:castillo_da@javeriana.edu.co">castillo_da@javeriana.edu.co</a> |

#### Oscar David Falla Pulido

|                  |                |                      |  |
|------------------|----------------|----------------------|--|
| <b>Documento</b> | <b>Celular</b> | <b>Teléfono fijo</b> | <b>Correo Javeriano</b>  |
| cc. 1007196594   | 313-3369666    | -                    | <a href="mailto:falla_o@javeriana.edu.co">falla_o@javeriana.edu.co</a> |

#### Juan Sebastián Mateo Ruiz Bulla

|                  |                |                      |  |
|------------------|----------------|----------------------|--|
| <b>Documento</b> | <b>Celular</b> | <b>Teléfono fijo</b> | <b>Correo Javeriano</b>  |
| cc. 1032501463   | 319-367-1002   | -                    | <a href="mailto:ruizju@javeriana.edu.co">ruizju@javeriana.edu.co</a> |

### DIRECTOR

#### Ing. César Julio Bustacara Medina

|                  |                |                      |  |  |
|------------------|----------------|----------------------|--|--|
| <b>Documento</b> | <b>Celular</b> | <b>Teléfono fijo</b> | <b>Correo Javeriano</b>  | <b>Empresa donde trabaja y cargo</b>                                   |
| cc. 7225571      | 316-813-3310   | 3208320 ext 5338     | <a href="mailto:cbustaca@javeriana.edu.co">cbustaca@javeriana.edu.co</a> | Pontificia Universidad Javeriana;<br>Director Departamento de Sistemas |

## Contenido

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 VISIÓN GLOBAL.....</b>                                   | <b>3</b>  |
| 1.1 ANTECEDENTES, PROBLEMA Y SOLUCIÓN PROPUESTA.....          | 3         |
| 1.1.1 Descripción de la problemática u oportunidad.....       | 3         |
| 1.1.2 Formulación del problema.....                           | 3         |
| 1.1.3 Propuesta de solución.....                              | 3         |
| 1.1.4 Justificación de la solución.....                       | 3         |
| 1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO .....                    | 4         |
| 1.2.1 Objetivo general.....                                   | 4         |
| 1.2.2 Objetivos Específicos .....                             | 4         |
| 1.3 ENTREGABLES, ESTÁNDARES UTILIZADOS Y JUSTIFICACIÓN.....   | 4         |
| <b>2 ANÁLISIS DE IMPACTO .....</b>                            | <b>6</b>  |
| <b>3 PROCESO .....</b>  | <b>7</b>  |
| 3.1 FASE METODOLÓGICA 1 .....                                 | 7         |
| 3.1.1 Método.....   | 7         |
| 3.1.2 Actividades.....  | 7         |
| 3.1.3 Resultados esperados.....                               | 7         |
| 3.2 FASE METODOLÓGICA 2 .....                                 | 7         |
| 3.2.1 Método.....   | 7         |
| 3.2.2 Actividades.....  | 7         |
| 3.2.3 Resultados esperados.....                               | 8         |
| 3.3 FASE METODOLÓGICA 3 .....                                 | 8         |
| 3.3.1 Método.....   | 8         |
| 3.3.2 Actividades.....  | 8         |
| 3.3.3 Resultados esperados.....                               | 8         |
| 3.4 FASE METODOLÓGICA 4 .....                                 | 8         |
| 3.4.1 Método.....   | 9         |
| 3.4.2 Actividades.....  | 9         |
| 3.4.3 Resultados esperados.....                               | 9         |
| <b>4 ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO .....</b>                | <b>10</b> |
| 4.1 COMPROMISO DE APOYO DE LA INSTITUCIÓN .....               | 10        |
| 4.2 DERECHOS PATRIMONIALES .....                              | 10        |
| <b>5 MARCO TEÓRICO .....</b>                                  | <b>11</b> |
| 5.1 FUNDAMENTOS Y CONCEPTOS RELEVANTES PARA EL PROYECTO. .... | 11        |
| 5.2 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN .....                | 12        |
| 5.2.1 Alternativas de solución e impacto.....                 | 12        |
| 5.2.2 Comparación de alternativas.....                        | 12        |

**6 REFERENCIAS .....13**

## 1 Visión global

### 1.1 Antecedentes, problema y solución propuesta

#### 1.1.1 Descripción de la problemática u oportunidad

Cada día se presentan más problemas de salud en la población, muchos de estos son de carácter respiratorio y se pueden dar por diversos factores; como la distensión muscular en la lengua y el tejido adiposo ubicado en la zona posterior parafaríngea provocando síndrome de apnea [1]. Estos factores afectan a partes del cuerpo como lengua, tráquea y faringe, produciendo padecimientos como el EPOC, disminuyendo la esperanza y la calidad de vida de las personas.

Los especialistas suelen ver estos problemas por medio de imágenes médicas (radiografías, resonancias magnéticas, tomografías computarizadas). Por lo tanto, parece una necesidad reducir los tiempos [2] en que los especialistas demoran en realizar una detección de las características anteriormente mencionadas, principalmente para reducir costos, a su vez brindándole más tiempo a los especialistas para tareas más importantes como el diagnóstico y tratamiento.

#### 1.1.2 Formulación del problema

Al momento de realizar la segmentación de la zona parafaríngea es necesaria la presencia de un experto médico. Esta segmentación se realiza de manera manual lo que conlleva un trabajo tedioso, y lento [2]. Asimismo, le quita tiempo de poder enfocarse en otras tareas como el diagnóstico y tratamiento del problema.

#### 1.1.3 Propuesta de solución

Para un diagnóstico más preciso, y eventualmente un tratamiento oportuno de los problemas respiratorios de una persona, se pretende implementar una solución computacional que segmente el tejido adiposo en la región parafaríngea. Se utilizarán técnicas de inteligencia artificial (IA) en el proceso de segmentación. Puntualmente se va a desarrollar un software de análisis de imágenes médicas relacionadas con los problemas ya mencionados; utilizando tecnologías como, Inteligencia de datos, computación gráfica y analítica de datos.

#### 1.1.4 Justificación de la solución

Un gran número de médicos continúa haciendo la segmentación de imágenes médicas de manera manual. Esto hace que el trabajo se vuelva tedioso, lento y dependiente del experto médico [3]. Por eso, se encuentra la necesidad de utilizar un algoritmo semiautomático para segmentar imágenes que permita obtener la región de la zona parafaríngea de interés o al menos un acercamiento inicial que luego pueda ser modificado por el experto médico.

## 1.2 Descripción general del proyecto

### 1.2.1 Objetivo general

- Diseñar e implementar una solución computacional de carácter semiautomática para segmentar el tejido adiposo de la región parafaríngea con una precisión de al menos el 85%.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Análisis de diferentes técnicas de aprendizaje profundo para segmentación de resonancias magnéticas en 3D.
- Prototipado de las diferentes técnicas analizadas para encontrar la más prometedora.
- Construcción de la solución final de acuerdo con los prototipos realizados.
- Realización de pruebas de la solución final y validación por parte de los expertos médicos.

## 1.3 Entregables, estándares utilizados y justificación

| Entregable           | Estándares asociados                         | Justificación  |
|----------------------|--|--|
| SRS                  | ISO/IEC 25010 [4]                            | Documento en el cual se especifican los requerimientos funcionales y no funcionales del sistema y/o atributos de calidad.  |
| SAD                  | ISO/IEC 25010 [4],<br>ISO/IEC/IEEE 12207 [5] | Documento de diseño de la arquitectura, donde se especificarán las decisiones de diseño tomadas para la realización del proyecto, teniendo en cuenta los requerimientos funcionales, no funcionales, atributos de calidad, preocupaciones y demás drivers arquitectónicamente relevantes para el proyecto. |
| Plan de Pruebas      | ISO/IEC TR 29119 [6]                         | Plan de pruebas donde se especifican las pruebas a las cuales el software generado de este proyecto se va a someter para asegurar la calidad, completitud y correcta funcionalidad.  |
| Documento de pruebas |  | Documento en el cual se van a colocar los resultados de las pruebas en métricas medibles y comprobables respecto a la calidad y el desempeño del software generado del proyecto.   |
| Memoria de trabajo   |  | Documento en el cual se especifica todo el proceso realizado por los miembros del grupo  |

|                           |   |  |
|---------------------------|---|--|
|                           |   | para el diseño y desarrollo del proyecto y su implementación   |
| Prototipo de segmentación | IEEE 730-2014 [7],<br>IEEE 1045 [8],<br>Investigación Basada en diseño [9],<br>SCRUM [10] | Resultado final de la implementación, el cual incluye código fuente, red o redes neuronales convolucionales entrenadas y sin entrenar, documentación para uso del mismo software y métricas sobre la precisión y desempeño del software respecto a su principal funcionalidad. |

## 2 Análisis de impacto

### **Corto plazo**

Se espera como impacto a corto plazo que el médico pueda tener la opción de utilizar este algoritmo como ayuda para segmentar la zona parafaríngea de las resonancias magnéticas de una forma mucho más rápida y eficiente. Este aprendizaje y funcionamiento del algoritmo sería de tipo supervisado, lo que conduciría a que el médico experto tenga que validar continuamente el resultado de la segmentación del algoritmo.

### **Mediano plazo**

A mediano plazo se podría esperar la colaboración de más desarrolladores y médicos en conjunto con el objetivo de construir una aplicación que use este algoritmo para que sea de fácil uso en los procesos de los médicos. Asimismo, con la colaboración de otros programadores, el aprendizaje y funcionamiento del algoritmo podría llegar a ser no supervisado, permitiéndole al médico experto la confianza absoluta de la segmentación del algoritmo y que no necesite estar presente para validar dicho resultado.

### **Largo plazo**

A largo plazo se pretende que el impacto sea aún mayor. Podría existir no solo el algoritmo sino una aplicación completa que sea la puerta a la automatización de la segmentación en cualquier zona en el cuerpo de los pacientes; reduciendo el tiempo en detectar cualquier anomalía o problema en esta zona de interés, y permitiéndole al médico experto utilizar ese tiempo “extra” para poder enfocarse en otras tareas más importantes como el diagnóstico y tratamiento del problema.

## 3 Proceso

### 3.1 Fase metodológica 1

*Contextualización:* Se investigan, analizan, y categorizan fuentes relevantes como: artículos, documentos, y expertos que puedan contribuir al desarrollo del proyecto.

#### 3.1.1 Método

Inicialmente se va a utilizar una versión simplificada de la metodología "Investigación basada en diseño". Esta metodología será de ayuda a la hora de buscar y analizar fuentes y recursos útiles para la evolución del proyecto gracias a que enriquece la investigación a medida que aumentan las fuentes y se obtiene una mayor contextualización del entorno. [9]

#### 3.1.2 Actividades

- Búsqueda de expertos y suministradores de recursos para el proyecto.
- Búsqueda de fuentes y recolección de información relevante.
- Filtrado groso de información.
- Filtrado fino de información relevante.
- Estudio inicial de contenido.

#### 3.1.3 Resultados esperados

Objetivos alcanzados en esta fase:

- Análisis de diferentes técnicas de Deep Learning para segmentación de resonancias magnéticas.

Al finalizar la contextualización se espera que cada uno de los desarrolladores del proyecto estén familiarizados con el material y cuenten con fuentes que puedan sostener, apoyar, e impulsar el desarrollo del algoritmo de detección de tejido adiposo.

### 3.2 Fase metodológica 2

*Diseño:* En esta fase se busca utilizar todo el material relevante y empezar a construir el diseño de la solución.

#### 3.2.1 Método

La investigación científica basada en diseño cuenta con una herramienta basada en ciclos de enriquecimiento. El método se fundamenta en la aplicación de la base de conocimiento y la recopilación de las diferentes variables del entorno. Adicionalmente, cuenta con un sistema dinámico ya que a medida que se construye el diseño de la solución la base del conocimiento y el entorno también crecen. [9]

#### 3.2.2 Actividades

- Investigación y Estudio profundo de cada uno de los recursos y fuentes



- Documentación acerca de los efectos en la salud y riesgos que puede llegar a provocar la presencia de tejido graso en la región parafaríngea.
- Documentación de los distintos algoritmos de segmentación implementados.
- Escrito, modelado y especificación de cada uno de los componentes necesarios para implementar la solución.
- Aplicar correcciones y mejoras a partir de la evaluación de expertos

### 3.2.3 Resultados esperados

Objetivos alcanzados en esta fase:

- Documentar sobre los distintos algoritmos de segmentación y trabajos relacionados.
- Documentar sobre la grasa en la región posterior parafaríngea y su correlación con los problemas respiratorios.

Se dará por terminada esta fase una vez se cuente con documentación suficiente para reducir el trabajo de investigación y diseño durante la fase de construcción y, además, se tenga un plan totalmente claro que contenga contenido claro de cómo se va a construir la solución

## 3.3 Fase metodológica 3

Construcción: En esta fase se entrará en el proceso de desarrollo de la solución apoyados en la documentación y salidas recogidas en las fases previas

### 3.3.1 Método

En esta etapa se adoptará un enfoque ágil similar al de SCRUM, tomando una estructura ligera de las iteraciones, se le añadirá algo de flexibilidad ya que se planean eliminar las reuniones diarias por dos semanales ajustadas al tiempo y disposición del equipo donde se va a realizar cada uno de los componentes de SCRUM, pero de forma más atómica, es decir en esas reuniones y dependiendo de las necesidades del proyecto se hará división de tareas, revisión de trabajo, retroalimentación, etc. [10]

### 3.3.2 Actividades

- División equitativa de tareas
- revisión del avance y calidad en cada una de las iteraciones
- Implementación de reuniones de retroalimentación

### 3.3.3 Resultados esperados

Objetivos alcanzados en esta fase:

- Entrenar el algoritmo con conjuntos de datos (según sea el caso).

## 3.4 Fase metodológica 4

Evaluación: Revisión de atributos de calidad por parte del equipo de desarrollo y de los expertos que participaron durante el desarrollo del proyecto

### **3.4.1 Método**

Para la evaluación también se va a implementar SCRUM. [10]

### **3.4.2 Actividades**

- Comparación del desempeño del algoritmo implementado con otros ya existente
- Validación de los atributos de calidad del algoritmo
- Revisión y prueba por parte de los expertos y del cliente potencial.

### **3.4.3 Resultados esperados**

Objetivos alcanzados en esta fase:

- Medir el desempeño del algoritmo.

## 4 Aspectos generales del proyecto

### 4.1 Compromiso de apoyo de la Institución

Dado el proyecto, no se necesitarían recursos físicos por parte de la Pontificia Universidad Javeriana para la ejecución y realización del proyecto. Por parte de nuestro Director de grado encontraríamos la asesoría necesaria y suficiente para el desarrollo propicio de la propuesta de grado dado que él cuenta con los conocimientos y la experiencia suficiente para guiarnos en este proyecto. Para la captura de datos, haciendo referencia a las imágenes médicas, contamos con repositorios públicos donde podemos encontrar las resonancias magnéticas en 3D de la zona de interés en nuestro proyecto.

### 4.2 Derechos patrimoniales

Nuestro algoritmo tendrá un licenciamiento de tipo software libre, específicamente de licencia BSD modificada (3 cláusulas) la cual permite el uso del código fuente en software no libre. Además, su distribución está permitida siempre y cuando se conserve los derechos de autor, la lista de condiciones, y tener descargo de responsabilidad en la documentación u otros materiales suministrados. Finalmente, ni el nombre de los titulares de derechos de autor, ni el nombre de los colaboradores, puede usarse para apoyar o promocionar productos derivados sin permiso específico previo y por escrito. [11]

## 5 Marco teórico

### 5.1 Fundamentos y conceptos relevantes para el proyecto.

#### **Zona parafaríngea**

Área triangular cerca de la faringe (garganta), entre la base del cráneo y el hueso hioides (el hueso debajo de la lengua). El espacio parafaríngeo se encuentra en los tejidos profundos del cuello y contiene en su mayoría grasa, pero también vasos sanguíneos (incluso la arteria carótida y la vena yugular), nervios, ganglios linfáticos y parte de las glándulas salivales. [12]

#### **Tejido adiposo**

El tejido adiposo es un tipo de tejido conectivo especializado constituido por células ricas en lípidos llamadas adipocitos. Este tejido representa del 20 al 25% del peso total corporal en individuos sanos, y su función principal es el almacenamiento de energía en forma de lípidos (grasa). [13]

#### **Segmentación de imágenes**

La segmentación es el proceso que subdivide una imagen en sus partes constituyentes u objetos, y es uno de los elementos fundamentales en el análisis automatizado de imágenes, debido a que es en esta etapa donde se extraen los objetos de interés para un procesamiento posterior, como descripción y reconocimiento. [14]

#### **Imagen por resonancia magnética**

La IRM es una tecnología de imágenes no invasiva que produce imágenes anatómicas tridimensionales detalladas, sin el uso de la radiación dañina. Se usa frecuentemente para la detección de enfermedades, el diagnóstico y el monitoreo de tratamientos. Se basa en una tecnología sofisticada que estimula y detecta el cambio en la dirección del eje de rotación de protones que se encuentran en el agua que compone los tejidos vivos. [15]

#### **Aprendizaje profundo**

El aprendizaje profundo es parte de un conjunto más amplio de métodos de aprendizaje automático que intenta modelar abstracciones de alto nivel en datos usando arquitecturas computacionales que admiten transformaciones no lineales múltiples e iterativas de datos expresados en forma matricial o tensorial basados en asimilar representaciones de datos. Una observación (por ejemplo, una imagen) puede ser representada en algunas formas (por ejemplo, un vector de píxeles), pero algunas representaciones hacen más fácil aprender tareas de interés sobre la base de ejemplos. [16]

#### **Redes neuronales convolucionales**

Las redes neuronales convolucionales es un algoritmo de Deep Learning que está diseñado para trabajar con imágenes, tomando estas como input, asignándole importancias (pesos) a ciertos elementos en la imagen para así poder diferenciar unos de otros. Las redes convolucionales contienen varias capas, donde las primeras puedan detectar líneas, curvas y así se van especializando hasta poder reconocer formas complejas como un rostro, siluetas, etc. [17]

## 5.2 Análisis de alternativas de solución

### 5.2.1 Alternativas de solución e impacto

#### 1. Detección de bordes - Discontinuidad

La detección de bordes por discontinuidad consiste en dividir una imagen basándose en los cambios bruscos del nivel de gris. Este método de extracción se basa en la diferencia que experimenta una característica en dos regiones adyacentes y que indica la existencia de un borde. [14]

#### 2. Umbralización - Histograma

La umbralización es uno de los métodos más importantes de la segmentación de imágenes. Se define el umbral como una función que convierte una imagen con diferentes tonalidades en una imagen en blanco y negro. Se selecciona un umbral que permita agrupar los píxeles de una imagen pertenecientes a los diversos objetos de la misma imagen diferenciándolos del fondo. De esta manera la segmentación basada en el histograma se basa en la elección de uno o varios umbrales que permiten agrupar los puntos de la imagen en regiones de características similares en función de sus niveles de gris. [14]

#### 3. Segmentación orientada a regiones – Crecimiento de regiones

Se utilizan propiedades espaciales de una imagen para segmentarla por regiones, es decir la imagen es dividida en regiones conexas, en donde cada región tienen propiedades distintas que las diferencian unas de otras. En suma, se trata de extraer los objetos de una imagen, las que pueden ser procesadas de manera independiente.

Es una técnica muy utilizada, que consiste en el crecimiento de regiones agrupando píxeles adyacentes que presentan características o propiedades similares. Se parte de un conjunto de puntos “semilla” y se hace crecer las regiones, añadiendo a los puntos semilla los puntos vecinos que tengan propiedades similares, como intensidad, textura, color, etc. Por ejemplo, si la propiedad es intensidad, un criterio utilizado para incluir un píxel en una región, puede ser que la diferencia absoluta entre la intensidad del píxel y la intensidad de la semilla sea menor que un umbral [14]

### 5.2.2 Comparación de alternativas

Teniendo en cuenta las técnicas de segmentación anteriormente mencionadas, y el alcance de nuestro proyecto con el algoritmo, se pretende que estas técnicas sirvan de inspiración para la segmentación en 3D de las resonancias magnéticas de la zona parafaríngea. En este caso, nuestra alternativa reuniría tanto características de estas técnicas más usadas para segmentación de imágenes, como técnicas para el procesamiento de imágenes médicas en 3D.

## 6 Referencias

- [1] NIH: Instituto Nacional del Corazón, los Pulmones y la Sangre. Apnea del sueño [Online]. Available: <https://medlineplus.gov/spanish/sleepapnea.html>
- [2] D. Iglesias. Segmentación de Imágenes con Redes Convolucionales [Online]. Available: <https://www.iartificial.net/segmentacion-imagenes-redes-convolucionales/>
- [3] D, R, Ortega Cardentey, A, M, Iznaga Benítez. Técnicas de Segmentación de Imágenes Médicas [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/profile/Dolgis-Ortega/publication/275951781\\_Tecnicas\\_de\\_Segmentacion\\_de\\_Imagenes\\_Medicas/links/554a60730cf21ed21358e423/Tecnicas-de-Segmentacion-de-Imagenes-Medicas.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Dolgis-Ortega/publication/275951781_Tecnicas_de_Segmentacion_de_Imagenes_Medicas/links/554a60730cf21ed21358e423/Tecnicas-de-Segmentacion-de-Imagenes-Medicas.pdf)
- [4] ISO/IEC. Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/35733.html>
- [5] ISO/IEC/IEEE. Systems and software engineering — Software life cycle processes [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/63712.html>
- [6] ISO/IEC TR. Software and systems engineering — Software testing — Part 11: Guidelines on the testing of AI-based systems [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/79016.html>
- [7] IEEE. IEEE Standard for Software Quality Assurance Processes [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/ieee/730/5284/>
- [8] IEEE. IEEE Standard for Software Productivity Metrics [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/ieee/1045/1529/>
- [9] G, Rafael. A, Pomares (2012). La investigación científica basada en el diseño como eje de proyectos de investigación en ingeniería [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/234660620\\_La\\_investigacion\\_cientifica\\_basada\\_en\\_el\\_diseño\\_como\\_eje\\_de\\_proyectos\\_de\\_investigacion\\_en\\_ingenieria](https://www.researchgate.net/publication/234660620_La_investigacion_cientifica_basada_en_el_diseño_como_eje_de_proyectos_de_investigacion_en_ingenieria)
- [10] Qué es SCRUM [Online]. Available: <https://proyectosagiles.org/que-es-scrum/>
- [11] Universidad de California (1989). Licencia BSD [Online]. Available: [http://i3campus.co/CONTENIDOS/wikipedia/content/a/licencia\\_bsd.html](http://i3campus.co/CONTENIDOS/wikipedia/content/a/licencia_bsd.html)
- [12] Instituto Nacional de Cáncer. Espacio parafaríngeo [Online]. Available: <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/espacio-parafaríngeo>
- [13] M, Laguna (2022). Tejido adiposo [Online]. Available: <https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/tejido-adiposo>
- [14] N, La Serna Palomino, U, Román Concha (2009). Técnicas de Segmentación en Procesamiento Digital de Imágenes [Online]. Available: [https://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/Publicaciones/risi/2009\\_n2/v6n2/a02v6n2.pdf](https://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/Publicaciones/risi/2009_n2/v6n2/a02v6n2.pdf)

[15] National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering. Imagen por Resonancia Magnética (IRM) [Online]. Available: <https://www.nibib.nih.gov/espanol/temas-cientificos/imagen-por-resonancia-magnetica-irm>

[16] E. Burns. ¿Qué es el aprendizaje profundo? [Online]. Available: <https://www.computerweekly.com/es/definicion/Aprendizaje-profundo-deep-learning>

[17] Bootcamp IA (2019). Intro a las redes neuronales convolucionales [Online]. Available: <https://bootcampai.medium.com/redes-neuronales-convolucionales-5e0ce960caf8>