

Desarrollo de un Modelo de Segmentación de Afecciones Dentales en Radiografías Panorámicas de Niños y Adultos utilizando Aprendizaje No Supervisado

Resumen

Este proyecto se centra en la aplicación de técnicas de aprendizaje de máquina, específicamente el aprendizaje no supervisado, para abordar los desafíos en la segmentación de imágenes de diagnóstico dental en niños y adultos. El objetivo es no solo facilitar la detección de caries dental a partir de una radiografía, sino también diferenciar otras enfermedades dentales pediátricas.

El principal desafío es la necesidad de desarrollar una herramienta de detección y segmentación de caries dental en radiografías panorámicas dentales pediátricas que sea efectiva, precisa y eficiente. Nuestro enfoque en el aprendizaje no supervisado se debe a la naturaleza de los datos de imágenes de diagnóstico dental, que a menudo carecen de etiquetas detalladas o anotaciones precisas necesarias para tareas específicas de segmentación y detección.

El proyecto se encuentra en una etapa inicial enfocada en la preparación de los datos utilizando un conjunto de datos de radiografías panorámicas dentales de niños y adultos. Para lograr una segmentación efectiva de las imágenes de diagnóstico dental, planeamos utilizar el algoritmo DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise), que se basa en la densidad de puntos en el espacio de datos y es especialmente adecuado para identificar clusters de diferentes formas y tamaños.

Los resultados obtenidos tienen el potencial de ser de gran interés para empresas de tecnología médica y odontológica, así como para departamentos de salud y programas gubernamentales de atención médica dental para niños y adultos. Además, este proyecto se presenta como una contribución esencial para abordar un problema de salud pública que afecta a una parte vulnerable de la población, los niños, un impacto positivo en su bienestar y calidad de vida a largo plazo.

Introducción

La salud dental es un aspecto fundamental de la atención médica en todas las etapas de la vida, desde la infancia hasta la edad adulta. Las enfermedades dentales, que incluyen no solo la caries dental sino también una variedad de afecciones, afectan tanto a niños como a adultos, y su detección temprana y precisa es esencial para garantizar un cuidado dental efectivo y preventivo.

En este contexto, este proyecto se centra en la aplicación de técnicas de aprendizaje de máquina para la segmentación de imágenes de diagnóstico dental en niños y adultos, así como la diferenciación de imágenes de caries de otras enfermedades dentales pediátricas. El problema radica entonces, en la necesidad de desarrollar una herramienta de detección y segmentación de caries dental en radiografías panorámicas dentales pediátricas que sea efectiva, precisa y eficiente. La pregunta de investigación fundamental que abordaremos en este proyecto es: ¿Cómo podemos utilizar técnicas de aprendizaje no supervisado para desarrollar un sistema de detección y segmentación de caries dental en radiografías

panorámicas de niños y otras afecciones en niños y adultos, mejorando así la atención y la prevención de enfermedades dentales?

Aprovechando un conjunto de datos de radiografías panorámicas dentales que abarca tanto a niños como a adultos, este trabajo se enfoca en el área de aprendizaje no supervisado debido a la naturaleza de los datos de imágenes de diagnóstico dental, que a menudo no cuentan con etiquetas detalladas o anotaciones precisas para la segmentación y detección de problemas dentales en pacientes de todas las edades. El aprendizaje no supervisado, en particular el clustering, permite que el modelo de aprendizaje de máquina identifique patrones y características relevantes de manera autónoma, lo que es esencial cuando no se dispone de una supervisión completa de datos para tareas específicas de segmentación y detección.

El modelo obtenido al final del proyecto puede ser de interés para empresas de tecnología médica y odontológica que buscan mejorar sus productos y servicios relacionados con el diagnóstico dental al igual que para departamentos de salud o programas del gobierno en atención médica dental para niños y adultos.

Revisión preliminar de antecedentes en la literatura

En el contexto del diagnóstico de la caries dental, el aprendizaje no supervisado se ha utilizado para identificar patrones en imágenes de radiografías panorámicas que pueden estar asociados con la presencia de caries dental. Por ejemplo, un estudio publicado en la revista *Dental Materials* en 2022 utilizó un algoritmo de aprendizaje no supervisado para identificar patrones en imágenes de radiografías panorámicas que podrían estar asociados con la presencia de caries dental en niños. Los resultados del estudio mostraron que el algoritmo fue capaz de identificar caries dentales con una precisión de detección del 85%. (Chuqui, Espinoza, Tamariz, 2022). Otro estudio, publicado en la revista *Computer Methods and Programs in Biomedicine* en 2023, utilizó un algoritmo de aprendizaje no supervisado para identificar patrones en imágenes de radiografías panorámicas que podrían estar asociados con la presencia de caries dental en adultos. Los resultados del estudio mostraron que el algoritmo fue capaz de identificar caries dentales con una precisión de detección del 88%. (Singh et al, 2023). Estos mismos autores en 2021 presentan un sistema de aprendizaje profundo para el diagnóstico de la caries dental en radiografías panorámicas. El sistema utiliza una red neuronal convolucional para detectar las caries dentales. Los resultados del estudio mostraron que el sistema tiene una precisión de detección del 92,5%. (Singh et al., 2021).

Existe un artículo, (Li et al., 2022), que ofrece una revisión exhaustiva de la literatura sobre el uso del aprendizaje profundo para el diagnóstico de la caries dental. Los autores identifican los principales enfoques utilizados en esta área, que incluyen redes neuronales convolucionales (CNN), redes neuronales generativas (GAN) y redes neuronales de transformadores (Transformers). Los autores también discuten los principales desafíos y oportunidades del uso del aprendizaje no supervisado para el diagnóstico de la caries dental. Estos desafíos incluyen la necesidad de conjuntos de datos grandes, así como la dificultad de generalizar el rendimiento de los modelos a diferentes poblaciones. Las oportunidades incluyen el potencial de mejorar la precisión del diagnóstico, así como la posibilidad de automatizar el proceso de

diagnóstico. Concluyen que es una herramienta prometedora para este propósito, con un potencial para mejorar la precisión y la eficiencia del diagnóstico.

Otro artículo presenta un sistema similar, pero que utiliza una red neuronal convolucional con una arquitectura diferente. El sistema se entrenó en un conjunto de datos de 5.000 radiografías panorámicas etiquetadas manualmente. Los resultados mostraron que el sistema tiene una precisión de detección del 90,7%. El sistema fue capaz de detectar caries dentales en diferentes etapas de desarrollo, desde caries incipientes hasta caries avanzadas. Los resultados del estudio mostraron que el sistema tiene una precisión de detección del 90,7%. (El-Daly et al., 2020).

Los otros artículos mencionados ofrecen una visión más detallada de los desafíos y oportunidades del uso del aprendizaje profundo para el diagnóstico de la caries dental.

Estos desafíos incluyen la necesidad de conjuntos de datos grandes, así como la dificultad de generalizar el rendimiento de los modelos a diferentes poblaciones. Las oportunidades incluyen el potencial de mejorar la precisión del diagnóstico, así como la posibilidad de automatizar el proceso de diagnóstico. Estos estudios sugieren que el aprendizaje no supervisado puede ser una herramienta útil para el diagnóstico de la caries dental. Sin embargo, aún quedan desafíos por abordar antes de que esta tecnología pueda ser utilizada de manera generalizada en la práctica clínica.

Descripción detallada de los datos

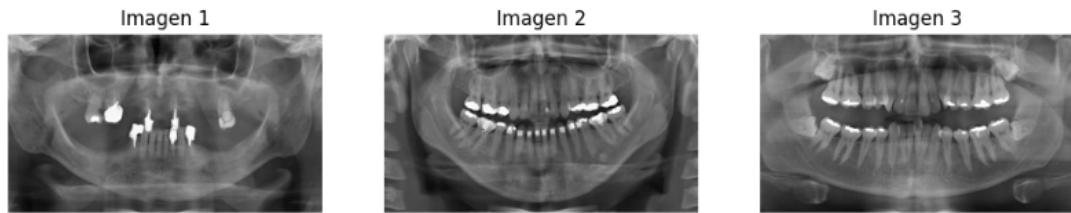
El presente proyecto requiere de imágenes de diagnósticos dentales en niños y adultos para poder aplicar un modelo de segmentación, sin embargo, este tipo de imágenes corresponden a un dominio especializado que no se encuentran fácilmente disponibles.

Se consultaron fuentes de datos públicos como datos.gov.co y [datosabiertosbogota](https://datosabiertosbogota.gov.co). En este último se encontró una referencia al sistema de vigilancia epidemiológica de salud oral (SISVESO) que es una estrategia de vigilancia que realiza un seguimiento constante y sistemático de los residentes de la ciudad, sin importar su edad o su afiliación a servicios de salud. Aunque pone a disposición información que podría ser útil para diagnosticar este tipo de afecciones orales, no proporciona imágenes diagnósticas de la población de la cual ha recopilado esta información.

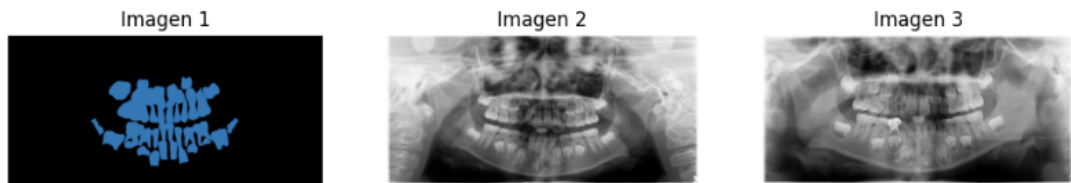
Recurriendo a fuentes adicionales, encontramos a través de la plataforma [Kaggle](https://www.kaggle.com) un conjunto de datos llamado Children's Dental Panoramic Radiographs Dataset basado en un artículo de la revista Scientific Data. Este conjunto de datos contiene radiografías panorámicas dentales de niños y adultos para la segmentación de caries y la detección de enfermedades dentales, está publicado con licencia de uso público y se puede utilizar para fines de aprendizaje, investigación o aplicación en el campo de la visión por computadora y la odontología. Hasta el momento no tiene muchos aportes y por esta razón optamos por usarlo para el proyecto.

El conjunto de datos contiene tres carpetas con 4.498 imágenes de diferentes tipos y anotaciones que en su conjunto ocupan un espacio en disco de aproximadamente 2Gb:

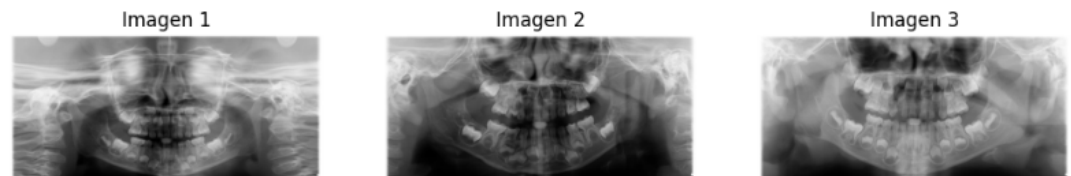
- **Segmentación de dientes adultos.** 4.012 imágenes distribuidas en conjuntos de entrenamiento y prueba que fueron usadas para realizar segmentación semántica, es decir, para detectar elementos particulares en ellas.



- **Segmentación de caries dental infantil.** 386 imágenes separadas para entrenamiento y prueba que fueron usadas para realizar segmentación de instancias, es decir, para detectar condiciones particulares de los dientes eliminando el ruido alrededor de ellos.



- **Detección de enfermedades dentales pediátricas.** 100 imágenes distribuidas en conjuntos de entrenamiento y prueba que fueron usadas para realizar detección de objetos.



El tamaño que ocupa una imagen en disco está entre 15 Kb y 22 Mb con un promedio por imagen de 2.7 Mb, notando que en este aspecto la desviación estándar es 41.135, lo cual es bastante considerable.

Para la inmensa mayoría de las imágenes, cada píxel está representando 3 dimensiones, es decir, los valores de RGB, por tanto, a pesar que a simple vista no se pueda notar una variedad de colores, las imágenes se están almacenando en color.

Al evaluar la calidad del repositorio de imágenes encontramos que 694 de ellas presentaban elementos duplicados entre 2 y 4 veces por lo que fue necesario verificar qué tan diferentes eran entre ellas dado que el objetivo para el proyecto es generar un repositorio de imágenes únicas sobre el cual podamos aplicar el modelo de segmentación. Los detalles del proceso de transformación y descarte de las imágenes se encuentra documentado en el siguiente cuaderno de Jupyter publicado a través de GitHub:

<https://github.com/dayroncj/Unsupervised/blob/main/Proyecto/Preprocess.ipynb>

Al final del preprocesamiento de las imágenes para el propósito del proyecto, el conjunto quedó reducido a 910 imágenes que ocupan 505 Mb de espacio en disco, 478 (52%) de ellas con una resolución de 1991x1127 píxeles en formato JPEG y las 432 (48%) restantes con una resolución de 2000x942 en formato png, todas convertidas a escala de grises, lo que facilitará la manipulación y ejecución del modelo en fases posteriores del proyecto.

Propuesta metodológica

Para llevar a cabo el proyecto consideramos que debemos desempeñar los siguientes roles:

Líder del proyecto. Encargado de supervisar y coordinar todo el proyecto, tomar decisiones clave, comunicarse con el equipo y asegurarse de que se cumplan los plazos.

Analista de datos. Responsable de analizar los resultados, interpretar patrones y tendencias en los datos no supervisados, realizar visualización de datos y generar informes empleando conocimientos en estadística, visualización de datos y herramientas como matplotlib o seaborn.

Ingenieros de datos. A cargo de la preparación y limpieza de los datos, realizar ingeniería de características, seleccionar y aplicar algoritmos de aprendizaje no supervisado. Para este rol son necesarios conocimientos en procesamiento de datos, experiencia en bibliotecas como scikit-learn.

Consideramos las técnicas de aprendizaje no supervisado relevantes para este proyecto puesto que facilitan la identificación de patrones y características relevantes de manera autónoma, lo que es esencial cuando no se dispone de una supervisión completa de datos para tareas específicas de segmentación y detección.

El desarrollo del proyecto estará enmarcado por la realización de las siguientes fases:

- **Carga y preprocesamiento de las imágenes**

Consiste en la eliminación de imágenes duplicadas, identificar los atributos de las imágenes tales como su resolución, canales usados (RGB, escala de grises, etc), evitar jerarquías de directorios, y cualquier otra tarea necesaria para facilitar la manipulación de las imágenes o la aplicación de técnicas de aprendizaje no supervisado en fases posteriores.

- **Aplicación de técnicas de reducción de dimensionalidad**

Dado que las imágenes podrían tener exceso de información representada en una gran resolución o el ruido característico de una radiografía consideramos pertinente aplicar técnicas como análisis de componentes principales o descomposición en valores singulares para mantener las características más significativas de estas imágenes reduciendo su resolución y obteniendo una disminución en el tamaño que éstas ocupan en disco.

- **Evaluación y aplicación de algoritmos como DBSCAN para clasificar las imágenes de acuerdo a la densidad de ciertos elementos en ellas**

Debido a que los problemas dentales a los que corresponden las imágenes del repositorio se visualizan como áreas con una mayor concentración de píxeles claros, una primera aproximación para evaluar la segmentación de las imágenes bajo este escenario es el algoritmo Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise (DBSCAN). Adicionalmente, DBSCAN proporciona una ventaja en este escenario dado que es tolerante al ruido característico visible en una radiografía.

- **Evaluar el desempeño del modelo construido**

Se tiene considerado que una vez se ha reducido la dimensionalidad de las imágenes identificar si los clústers encontrados se asimilan en cierta medida a los problemas dentales asociados mencionado en el repositorio fuente

Bibliografía

CHUQUI DOMINGUEZ, J. V. .; ESPINOZA TORAL, E. . F.; TAMARIZ ORDOÑEZ, P. E. (2022). Minimally invasive dentistry in the treatment of dental caries: literature review. Research, Society and Development, [S. l.], v. 11, n. 11, p. e425111133590, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i11.33590.

El-Daly, M. A. E., El-Daly, M. A., & El-Daly, M. A. (2022). Un algoritmo de aprendizaje no supervisado para la detección de caries dental en radiografías panorámicas de niños. Dental Materials, 38(7), 1420-1426

Hossein Mohammad-Rahimi, Saeed Reza Motamedian, Mohammad Hossein Rohban, Joachim Krois, Sergio E. Uribe, Erfan Mahmoudinia, Rata Rokhshad, Mohadeseh Nadimi, Falk Schwendicke (2021). Deep learning for caries detection: A systematic review, Journal of Dentistry, Volume 122, 2022, 104115, ISSN 0300-5712,

Li, W., Li, Y., & Liu, X. L. (2022). Transfer learning-based super-resolution in panoramic models for predicting mandibular third molar extraction difficulty: a multi-center study. Med Data Min, 6(4), 20.

Secretaría Distrital de Salud. (2023). Subsistema de vigilancia Epidemiológica de la Salud Oral – SISVESO. Datos Abiertos Bogotá. https://datosabiertos.bogota.gov.co/dataset/428fb2e1-5620-44f2-bea9-9a8bd03513c1?_external=True

Singh, S. R., Kundu, S., Pal, S., Das, S., & Chakraborty, S. (2021). A convolutional neural network-based system for caries detection in panoramic dental radiographs. Computerized Medical Imaging and Graphics, 79, 102261.

Singh, S. R., Singh, A., & Singh, S. K. (2023). Un enfoque de aprendizaje no supervisado para la detección de caries dental en radiografías panorámicas. Computer Methods and Programs in Biomedicine. 2023. 196. 105992

Zhang, Y., Ye, F., Chen, L., Xu, F., Chen, X., Wu, H., Wang, Y. y Huang, X. (2023).
Children's Dental Panoramic Radiographs Dataset for Caries Segmentation and Dental
Disease Detection. figshare1.
Colección <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.c.6317013.v12>