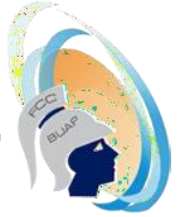




Benemérita Universidad Autónoma de Puebla



Facultad de Ciencias de la Computación

PROTOTIPO DE SISTEMA DE TRIAGE PARA EMERGENCIAS HOSPITALARIAS

Tesis que para obtener el grado de:
Maestría en Ciencias de la Computación

PRESENTA:

Ana Teresa Ricaño Zúñiga

ASESOR:

Dra. María de la Concepción Pérez de Celis Herrero

CO-ASESOR:

Dra. Juana Canul Reich

PUEBLA, PUE

ENERO 2024

Agradecimientos

A mis asesoras de tesis, Dra. María de la Concepción Pérez de Celis Herrero y la Dra. Juana Canul Reich, por el apoyo que me brindaron para poder concluir este trabajo de forma satisfactoria. ¡Muchas gracias por todo el apoyo y comprensión que me han dado en el transcurso de este proyecto!

A esta institución, por darme la oportunidad de estar aquí y de darme las herramientas para desarrollarme como profesional. Gracias a la dedicación y compromiso que siempre ha tenido con sus estudiantes y que me han permitido adquirir conocimientos y nuevas habilidades. Muchas gracias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, ¡Por inspirarme a ser mejor cada día!

A mis padres, Rodolfo Rubén Ricaño Morales y Ana Zúñiga Loreda, por ser un pilar fundamental en todo mi trayecto, ser las personas que me han enseñado a nunca rendirme y superarme como persona para ser mejor cada día. ¡Muchas gracias por ser mis guías, amigos y consejeros en los momentos más difíciles!

A mi hermano, Rodolfo Ricaño Zúñiga, por apoyarme y enseñarme como sobrepasar los malos momentos, que a través de su experiencia pude ver que no eran tan malos y que sólo eran un escalón más en el camino que estaba recorriendo, por ser un ejemplo para mí. ¡Muchas gracias por ser mi hermano y estar presente para mí siempre!

A mi esposo, Juan Alberto Parola, por todo el apoyo que me brindó, por motivarme y siempre estar ahí para animarme, por alentarme a no rendirme y superarme. ¡Muchas gracias por todas esas palabras de aliento y por siempre creer en mí!

Resumen

En la presente tesis se muestran los resultados del diseño e implementación del prototipo de un sistema que sirve como herramienta de apoyo para la realización del *Triage Médico* automatizado. Este procedimiento es una valoración preliminar que clasifica a los pacientes en diferentes índices de gravedad. Esto es de vital importancia a la hora de poder atender de forma eficiente a los pacientes, permitiendo darle prioridad a los que tengan una mayor gravedad.

El prototipo del sistema realizado hace uso de un modelo de predicción conocido como árbol de decisión y se probó su eficiencia del sistema en comparación con otros métodos de triage, teniendo un buen desempeño.

Índice

Agradecimientos	2
Resumen.....	3
Capítulo 1. Introducción.....	6
Capítulo II. Antecedentes	7
Capítulo III. Fundamentos teóricos: Árboles de decisión	20
3.1. Árboles de Decisión características estructurales y sus usos	20
3.1.1. Árboles de Regresión	22
3.1.2 Árboles de Clasificación.....	23
3.2 Tipos de Árboles de decisión.....	24
3.3 Trabajos previos sobre a la problemática del triage automatizado	27
Capítulo IV. Propuesta de Solución Diseño y Desarrollo	29
4.1. Escoger el tipo de triage	29
4.2. Investigación de campo	30
4.3 Atributos importantes	30
4.4 Metodología	31
Capítulo V. Resultados	35
5.1 Interfaz	35
Capítulo VI. Conclusiones y Trabajos a Futuro.....	38
Referencias.....	39

Índice de Imágenes

Figura 1 Funcionamiento de un árbol de regresión.....	23
Figura 2 Funcionamiento de un árbol de clasificación.	24
Figura 3 Primera pantalla de la interfaz.....	35
Figura 4 Segunda pantalla de la interfaz	36
Figura 5 Muestra detallada de cómo se ingresa la escala de Glasgow	36
Figura 6 Ejemplo de clasificación	36
Figura 7 Corrección de la clasificación.....	37

Capítulo 1. Introducción

En la actualidad, el proceso de "triage" o "triaje" al ingresar a un hospital busca gestionar de manera eficiente los recursos y el espacio en las áreas de urgencias de los centros médicos. Su objetivo principal es garantizar que todos los pacientes que acuden reciban atención conforme a sus necesidades médicas, asegurando una distribución adecuada de los recursos disponibles. El propósito fundamental del triage consiste en detectar de manera rápida las condiciones médicas graves que ponen en riesgo la vida y asignarlas al área de tratamiento más apropiada, con el fin de reducir la congestión en la sala de urgencias. (García-Regalado et al., s. f.-a).

Cada nación ha implementado el triage según sus demandas sociales, y México no es una excepción. El país ha establecido estándares de calidad que especifican que, en la prestación de servicios de urgencia, la evaluación de la urgencia debe llevarse a cabo en los primeros 10 minutos, la duración del proceso de triage debe ser inferior a 5 minutos, y el porcentaje de pacientes que abandonan el servicio sin recibir atención médica no debe superar el 2% del total de consultas. (García-Regalado et al., s. f.-b).

La Norma Oficial Mexicana de los servicios de urgencias (*DOF - Diario Oficial de la Federación*, s. f.) establece que es necesario que un médico evalúe al paciente y determine las prioridades de atención al ingresar al servicio de urgencias. Sin embargo, debido a diversas circunstancias, esta práctica no siempre es factible (García-Regalado et al., s. f.-b).

El triage hospitalario desempeña un papel crucial en la seguridad del paciente y constituye el primer punto de contacto para aquellos individuos que llegan al servicio de urgencias de un centro de salud debido a diversas circunstancias. Considerando el sistema de triage adoptado por el Hospital Universitario de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (HU), se propone la creación e implementación de un prototipo informatizado. Este prototipo permitiría al área de urgencias del HU llevar a cabo eficientemente esta actividad esencial, buscando mejorar la calidad de la atención en el servicio de urgencias. Vale la pena destacar que el triage se considera un indicador clave de la calidad en la atención médica. (Avilés-Martínez et al., 2016).

Se busca crear una herramienta que sirva como apoyo al momento de hacer el triage, de tal forma que sea eficiente, funcional y flexible con respecto a la persona que realice el triage, y así mismo pueda servir en caso de que no necesariamente un médico pueda realizar dicho procedimiento. Por lo que se propuso diseñar una aplicación que cumpla con los siguientes requerimientos:

- Identificar los indicadores y modelar las reglas de clasificación de los pacientes para cada uno de los niveles de urgencias
- Establecer y justificar la técnica de clasificación a utilizar considerando las técnicas para este propósito de la Ciencia de Datos
- Reducir el número de pacientes perdidos sin ser atendidos por el médico (menos del 2% de todos los pacientes que acuden al servicio Urgencias).

- Respetar el tiempo de clasificación en el triage menor a cinco minutos

Capítulo II. Antecedentes

A diario, utilizamos los términos "Emergencia" y "Urgencia" tanto en el ámbito médico como en la vida cotidiana. Sin embargo, estas expresiones tienen múltiples definiciones y, en ocasiones, pueden resultar poco claras. Según la Real Academia de la Lengua Española (RAE), una emergencia se refiere a una situación de peligro que requiere una acción inmediata. La Asociación Médica Americana (AMA) define la emergencia como cualquier situación que amenace la vida, un órgano o una función y que demande atención inmediata. Por último, la Organización Mundial de la Salud (OMS) considera la emergencia como un evento en el cual la falta de asistencia podría resultar en la muerte en minutos. En este contexto, proporcionar primeros auxilios por parte de cualquier persona se vuelve de vital importancia. (Piñeiro Pérez et al., 2017).

Por otro lado, según la Asociación Médica Americana (AMA), una urgencia se refiere a cualquier condición que, según la percepción del paciente, su familia o cualquier persona responsable de la solicitud, requiere atención médica inmediata. En tanto, la Organización Mundial de la Salud (OMS) define la urgencia como la aparición inesperada, en cualquier lugar o actividad, de un problema de diversa causa y gravedad variable, que genera una conciencia de la necesidad inminente de atención, tanto por parte del individuo afectado como de su familia. (Oncosalud, s. f.).

Tomando en cuenta lo mencionado anteriormente, una emergencia se define como una situación crítica que amenaza de manera inmediata la vida del paciente o la función de un órgano. La diferencia clave entre emergencia y urgencia radica en el tiempo de atención. La emergencia demanda una respuesta especializada en cuestión de minutos debido a su riesgo vital inminente a corto plazo. Por otro lado, la urgencia refiere a una condición patológica con una evolución más lenta y no necesariamente mortal, pero que requiere ser atendida en un plazo máximo de seis horas para prevenir complicaciones mayores. (Oncosalud, s. f.).

La definición de urgencia, además de considerar los conceptos objetivos como gravedad y necesidad de intervención, implica dos aspectos subjetivos: el grado de sufrimiento de los pacientes y sus expectativas. En la actualidad, la saturación de los servicios de urgencias hospitalarias (SUH) es un problema global que afecta tanto la calidad de la atención como la seguridad de los pacientes. Con el transcurso de los años, ha surgido la necesidad de establecer un método estandarizado y reproducible para la organización de estos servicios, esto debido al incremento en la demanda asistencial a este nivel en las últimas décadas. (Oncosalud, s. f.).

La clasificación en los servicios de urgencias ha evolucionado, ya sea de manera formal o informal, desde métodos empíricos hasta aquellos reconocidos como Triage Estructurado (Gómez-Jiménez et al., 2006). Entre las características que deben cumplir estos sistemas de clasificación de pacientes se incluyen: ser reproducibles, con concordancia inter-observador, ser útiles para medir el grado de urgencia, tener validez empírica para prever la gravedad y

evolución de los pacientes, y ser aplicables a todos los servicios de urgencias. El proceso de clasificación es dinámico y busca identificar a los pacientes que requieren tratamiento inmediato según el riesgo potencial para la vida o el grado de dolor. Esto resulta crucial para prevenir complicaciones y detectar causas agudas con riesgo significativo para la vida de las personas.

La finalidad del triage es reconocer de manera rápida las condiciones graves y potencialmente mortales, y asignarlas al área de tratamiento más adecuada para disminuir la congestión en la sala de urgencias (Soler et al., 2010). En consecuencia, se puede afirmar que los objetivos del triage son:

- Identificar a los pacientes en situaciones de riesgo de vida.
- Asegurar la priorización en función de un nivel de clasificación.
- Decidir el área más apropiada para la atención de los pacientes.
- Disponer información sobre el proceso asistencial.

El proceso de asignación de prioridades implica llevar a cabo las siguientes acciones, las cuales deben completarse en un tiempo no superior a 5 minutos:

- **Primero.** Realizar una evaluación rápida de vía aérea, ventilación y circulación.
- **Segundo.** Identificar el motivo de urgencia a través de una anamnesis dirigida y específica, que permita identificar de manera oportuna la causa principal de la consulta. La prioridad del paciente se asigna con base en la información proporcionada por el paciente y los hallazgos clínicos en el primer contacto.
- **Tercero.** Evaluar los signos vitales del paciente.
- **Cuarto.** Asignar al paciente al área de tratamiento correspondiente dentro del servicio de urgencias, de acuerdo con la prioridad determinada.

En el ámbito de la salud, el triage se concibe como un proceso dinámico mediante el cual se establece el orden de prioridades para la atención. La clasificación se fundamenta en el beneficio que se puede obtener con la atención médica, no limitándose únicamente a la gravedad de las lesiones.

En situaciones de emergencia o desastre, donde se requiere proporcionar atención a múltiples víctimas, y enfocándonos específicamente en el tema abordado, es esencial implementar de inmediato un programa de triage. Este programa permite evaluar, seleccionar y estratificar a los pacientes de manera rápida, basándose en su estado clínico y pronóstico, para tomar decisiones informadas sobre la prioridad de evacuación de cada paciente (Raita et al., 2019a).

El triage, al ser un proceso dinámico, implica la evaluación continua de los pacientes y su respuesta a los tratamientos recibidos. En función de esta evaluación, un paciente puede cambiar su prioridad de atención, adaptándose a su evolución clínica y a la efectividad de las intervenciones médicas aplicadas (Raita et al., 2019a).

El triage estructurado se considera un indicador de calidad en los servicios de urgencias, con el objetivo de mejorar el flujo de pacientes y reducir la variabilidad en la atención. Los

principios fundamentales que caracterizan a un sistema de triage estructurado y moderno incluyen:

- Sistema de triage de 5 niveles. Se utiliza una priorización de 5 niveles estandarizada, respaldada por un programa informático de gestión de triage. Este sistema facilita el registro de la clasificación, el control de todos los pacientes dentro y fuera del servicio, y el seguimiento de los tiempos de actuación para agilizar la atención y prevenir masificaciones. (Rancaño-García et al., 2013a).
- Modelo integrador. Se integran aspectos relevantes de los modelos actuales de triage de 5 categorías, aportando revisiones y adaptaciones específicas al entorno sanitario correspondiente. (Rancaño-García et al., 2013a).
- Modelo de calidad. Se establece un modelo de calidad con objetivos operativos propuestos como indicadores de calidad del triage, que deben ser fiables, válidos, útiles, relevantes y aplicables (Soler et al., 2010).
- Sistema no excluyente para médicos y enfermeros. El sistema de triage es médico y de enfermería no excluyente, priorizando la urgencia del paciente por encima de cualquier otro enfoque estructural o profesional, dentro de un modelo de especialización en urgencias (Soler et al., 2010).
- Programa informático de ayuda a la decisión clínica. Se implementa un programa informático evaluado y validado que brinda ayuda continua en la toma de decisiones de triage, con registro anamnésico del proceso (Soler et al., 2010).
- Modelo de mejora continua de la calidad. El sistema se integra en un modelo de mejora continua de la calidad, monitorizando indicadores de calidad del triage y estableciendo estándares para los motivos de consulta, permitiendo evaluar la casuística del servicio. (Soler et al., 2010).
- Integración con historia clínica electrónica. El sistema puede integrarse con un modelo global de historia clínica electrónica, estandarizada y conforme a estándares de calidad, para un control total de la gestión clínica y administrativa en la sala de urgencias. (Soler et al., 2010).
- Adaptaciones estructurales y de personal. Se proponen adaptaciones estructurales y de personal en la sala de urgencias, ajustadas a las necesidades de calidad del sistema de triage, y se sugiere formación específica para el personal de triage (Soler et al., 2010).
- Aplicación holística en diferentes ámbitos. El sistema de triage estructurado es holístico y aplicable tanto en el ámbito de la urgencia hospitalaria como en el extrahospitalario. Además, es válido para niños y adultos, independientemente del tipo de hospital, dispositivo o centro de asistencia (Soler et al., 2010).

En situaciones de desastre, es crucial llevar a cabo el triage en al menos tres ubicaciones diferentes: prehospitalaria, en la sala de urgencias y en el área de hospitalización. Cada sitio proporcionará un nivel diferente de cuidado (García-Regalado et al., s. f.-b).

- **Triage prehospitalario:** Este proceso se realiza en las proximidades del desastre y debe ser llevado a cabo por un médico o paramédico experimentado. Para ser eficaz, se deben seguir las siguientes reglas (Leeies et al., 2016):
 - Rápida. Se realiza de manera ágil para no retrasar la atención a otras víctimas, evitando demoras en la evacuación de una víctima clasificada y estabilizada.

Se establece como norma general que el tiempo máximo para clasificar a una víctima fallecida no debe superar los 30 segundos, 1 minuto para una situación leve y 3 minutos para una situación grave.

- Completa. Nadie debe ser evacuado antes de ser clasificado, a menos que existan circunstancias excepcionales como condiciones meteorológicas adversas, obscuridad o riesgo potencial importante para los equipos.
- Precisa y segura. Ante la duda sobre en qué categoría incluir a una víctima, se decide siempre por la categoría más grave, ya que corregir esta clasificación puede no ser posible.
- Sentido anterógrado. Una vez que la víctima ha abandonado un determinado escalón, debe llegar al destino asignado.

Los objetivos fundamentales en esta etapa son:

- Identificar a los lesionados.
- Determinar su prioridad de atención clasificándolos según el código internacional de colores.
- Filtrar a los pacientes que deban ser enviados al hospital.
- Tratar a los pacientes con lesiones que ponen en peligro inmediato su vida y enviar a los lesionados en forma segura al hospital con el transporte adecuado.
- Documentar a las víctimas, incluyendo datos de filiación, lesiones, prioridad y atención recibida.
- Aplicar medidas diagnósticas y terapéuticas según sea necesario.

• **Triage en la sala de urgencias:** Cuando se recibe la notificación del arribo de un número masivo de víctimas, el oficial de triage, quien deberá ser el médico jefe del servicio de urgencias o la persona con mayor experiencia presente en ese momento, establecerá en la entrada del servicio el sitio de selección, asegurándose de que ningún paciente ingrese al hospital sin pasar por este lugar. Los objetivos fundamentales de este nivel de selección son (Leeies et al., 2016):

- Verificar si ha cambiado la prioridad de atención del paciente.
- Canalizar a los lesionados a las diferentes áreas de atención médica.

Este proceso garantiza una evaluación continua y actualizada de la prioridad de atención de los pacientes, permitiendo una distribución eficiente y efectiva de los recursos médicos en las diversas áreas de atención dentro del servicio de urgencias.

• **Triage hospitalario:** En las áreas de tratamiento, el paciente será continuamente reevaluado, y los objetivos fundamentales en esta selección son (Leeies et al., 2016):

- Servicio de urgencias. Esto contribuirá a reducir la congestión del servicio y mejorar el flujo de pacientes. Canalizar a los pacientes a su tratamiento definitivo.
- Canalizar a los pacientes hacia su tratamiento definitivo. Asegurar una asignación eficiente de recursos y espacio en el servicio de urgencias.
- Hacer un uso apropiado de los recursos y el espacio de urgencias. Garantizar que todos los pacientes que se presenten tengan acceso a la atención según sus necesidades médicas.

- Mantener comunicación con el personal médico y de enfermería en las áreas de tratamiento. Proporcionar información sobre las necesidades de exploraciones diagnósticas preliminares y el tipo de servicio que necesita el paciente.
- Reducir los falsos positivos y los falsos negativos. Es decir, aumentar la sensibilidad y especificidad del estado clínico del paciente.
- Reducir los tiempos de espera. Agilizar el proceso de atención médica.
- Predecir la evolución clínica del paciente. Ayudar a anticipar y planificar adecuadamente la atención médica de cada paciente según su estado clínico.

El triage estructurado debe incorporar escalas de valoración que sean útiles, relevantes y reproducibles. Estas escalas deben permitir la identificación rápida de los pacientes con mayor riesgo, facilitando así la priorización de su asistencia y reduciendo la probabilidad de que desarrollen patologías más graves o que enfrenten riesgos mortales (Leeies et al., 2016).

En el Triage Estructurado se ha concebido una forma de clasificación de urgencias que se considera un método decisivo, contribuyendo a la clasificación de pacientes según la gravedad y el tiempo de espera para recibir atención oportuna. Este sistema tiene como objetivo la selección y priorización de pacientes en función de su estado de salud, orientada a la posibilidad de supervivencia. Se basa en una breve evaluación clínica que determina el tiempo y la secuencia en la que el paciente será atendido, ya sea en el ámbito prehospitalario o en el servicio de urgencias (Soler et al., 2010). Proporciona un método para distribuir recursos en la atención médica de acuerdo con las necesidades del paciente. Los niveles de atención actualmente considerados y aceptados en el triage estructurado se basan en un sistema de colores (rojo, naranja, amarillo, verde y azul). Estos se describen a continuación:

Nivel 1 Resucitación. Tiempo de atención inmediato

En este primer nivel, se necesita atención inmediata debido a que la condición del paciente representa un riesgo vital. En la mayoría de los casos, es necesario llevar a cabo maniobras de reanimación, ya sea por problemas respiratorios o neurológicos, pérdida de algún miembro u órgano, u otras condiciones que por norma exigen atención inmediata.

Algunos problemas que pueden presentarse en este nivel incluyen shock, fracturas, intento de suicidio, estado convulsivo, dificultad para respirar, paro cardíaco o respiratorio, heridas graves, traumas graves en cráneo o cadera, embarazo con sangrado, abuso sexual, entre otros (Leeies et al., 2016).

Nivel 2 Emergencia. Tiempo de atención de 0 a 15 minutos

En este nivel, la condición clínica del paciente puede deteriorarse rápidamente o llevar a su muerte, aumentando el riesgo de pérdida de un miembro u órgano. Requiere atención en un periodo que no supere los 30 minutos. Si existe algún tipo de dolor extremo, de acuerdo con el sistema de clasificación usado, este debe ser tomado como un criterio a considerar dentro de esta categoría.

Como emergencias se encuentran: infarto, fractura expuesta, sangrado a cualquier nivel (Leeies et al., 2016).

Nivel 3 Urgencia. Tiempo de atención de 15 a 30 minutos

Cuando se clasifica como urgencia, los pacientes necesitan un examen complementario o un tratamiento rápido. Aunque pueden considerarse estables desde un punto de vista fisiológico, su situación puede empeorar si no se actúa con rapidez.

Algunas situaciones que se pueden llegar a considerar una urgencia son: fiebre sin mejoría, dolor en el pecho por más de cinco días, infección de herida quirúrgica, heridas que necesitan puntos pero no involucran órganos vitales (Leeies et al., 2016).

Nivel 4 Semi Urgente. Tiempo de atención de 30 a 60 minutos

Los pacientes en este nivel presentan condiciones médicas que se pueden considerar que no están comprometiendo su estado general ni representan, en ese momento, un riesgo evidente para su vida o la pérdida de algún miembro u órgano. Sin embargo, existe el riesgo de complicaciones o secuelas si no reciben la atención correspondiente.

Se pueden considerar como situaciones de semi urgencia si el paciente presenta los siguientes síntomas: esguince, diarrea sin deshidratación, vómito sin sangre, entre otras condiciones (Leeies et al., 2016).

Nivel 5 No Urgencia. Tiempo de atención de 60 a 120 minutos

Los pacientes en este nivel no se consideran una urgencia ya que la condición clínica del mismo no muestra evidencia de deterioro que comprometa su estado general ni representa un riesgo evidente para la vida o la funcionalidad de algún miembro u órgano.

Las no urgencias pueden ser: malestar sin fiebre, resfriado común, entre otros padecimientos. (Leeies et al., 2016).

A pesar de que la clasificación de pacientes es el objetivo principal del triage, se han descrito otras funciones que cumplen un papel crucial en la atención de emergencias. Entre estas funciones se incluyen la identificación de pacientes en situación de riesgo vital, asegurar la priorización según el nivel de clasificación, determinar el área más adecuada para atenderlos, proporcionar información sobre el proceso de asistencia, ofrecer información a familiares, mejorar el flujo de pacientes y reducir la congestión del servicio, entre otros. Estas funciones adicionales contribuyen significativamente a la eficiencia y efectividad del sistema de triage en situaciones de urgencia (Soler et al., 2010).

De acuerdo con la bibliografía del tema podemos identificar cinco sistemas de triage estructurado (García-Regalado et al., s. f.-b) cómo los más utilizados en la actualidad y con mayor reconocimiento internacional: el Australasian Triage Scale (ATS), el Canadian Triage and Acuity Scale (CTAS), el Manchester Triage System (MTS) y el Emergency Severity Index (ESI), a los que se suma el Sistema Estructurado de Triage - SET (que lo conforman el Sistema Español de Triage (SET), también conocido como “Model Andorrà de Triage” (MAT), de desarrollo e implantación en entornos de habla hispana -España, Andorra y América Latina-) cuyas principales características se desglosarán más adelante. Por otra parte, también existen 15 sistemas más de triage estructurado con menor uso internacional que se resumen en la tabla 6 (Sánchez-Bermejo et al., 2021), o bien de carácter específico es decir para cierto tipo de pacientes como son el triage pediátrico y el obstétrico o bien para padecimientos como es el caso de los protocolos de triage para pacientes con sospecha de

COVID-19, desarrollados para agilizar los servicios de urgencias durante la pasada pandemia de COVID-19 (García-Regalado et al., s. f.-b).

Los cinco modelos de triage hospitalario estructurado más utilizados se describen a continuación y cabe señalar que todos cuentan con cinco niveles de prioridad donde el I que precisa atención inmediata y el V es considerado el menor urgente (García-Regalado et al., s. f.-b). :

La austraslian triage scale (ATS): El ATS utiliza cinco categorías, desde la Categoría 1, una afección que pone en peligro la vida de inmediato y que requiere evaluación y tratamiento simultáneos e inmediatos, hasta la Categoría 5, una afección crónica o menor que puede evaluarse y tratarse en dos horas (García-Regalado et al., s. f.-b).

- Incluye la valoración del estado fisiológico del paciente, así como el uso de discriminadores que afectan en la clasificación y modificadores de riesgo.
- El nivel de urgencia del paciente se establece valorando en conjunto el aspecto general del mismo y considerando cuál es la característica clínica que tiene mayor urgencia.
- La evaluación del triage no debe tomar más de dos a cinco minutos.
- Es realizado por personal capacitado en enfermería, medicina o ambos, siempre y cuando hayan recibido una formación específica para este tipo de clasificación.
- La ATS solo se utiliza para describir la urgencia clínica.
- Se requieren medidas separadas para describir la gravedad, la complejidad, la calidad de la atención, así como la carga de trabajo y la dotación de personal.

Tabla 1. Escala de triage australiana (ATS) (García-Regalado et al., s. f.-b).

<i>Categoría</i>	Descripción	Tiempo máximo de respuesta (en minutos)
1	Inmediato que pone en peligro la vida.	0
2	Inminentemente mortal.	10
3	Potencialmente que pone en peligro la vida.	30
4	Potencialmente serio.	60
5	Menor urgente.	120

La canadian emergency department triage and acuity scale (CTAS): Un sistema de cinco niveles utilizado en un departamento de emergencias (ED) o centro de atención de urgencia (UC), el cual sirve para evaluar a los pacientes según la urgencia de su condición. CTAS asigna a los pacientes en una de cinco categorías según la urgencia de su necesidad (García-Regalado et al., s. f.-b).

- Establece un plazo no mayor de 10 minutos, esto con el fin de que el paciente sea valorado.
- Si hay algún paciente en espera de ser clasificado, no se realizará el triage completo, sino que se les pedirá únicamente la información esencial para asignarles un nivel de gravedad.
- Es realizado por enfermería y se recoge tanto información subjetiva como objetiva.

- Se registra no sólo el tratamiento que toma habitualmente el paciente, sino también las alergias que presenta.

Tabla 2. Modelo canadiense de triaje (CTAS) (García-Regalado et al., s. f.-b)

<i>Nivel de Prioridad</i>	<i>Significado</i>	<i>Color</i>	<i>Tiempo máximo de respuesta (en minutos)</i>
<i>Nivel I</i>	Reanimación inmediata	Rojo	Inmediato (0 minutos)
<i>Nivel II</i>	Emergencia	Naranja	15 minutos
<i>Nivel III</i>	Urgencia	Amarillo	30 minutos
<i>Nivel IV</i>	Poco urgente	Verde	60 minutos
<i>Nivel V</i>	Sin urgencia	Azul	120 minutos

El manchester triage system (MTS): Se centra en 5 objetivos: elaborar una nomenclatura común, hacer uso de definiciones comunes, desarrollar una metodología sólida de triage, implantar un modelo global de formación, permitir y facilitar la auditoria del método de triage desarrollado. Se estableció un sistema de clasificación de 5 niveles y a cada una de estas nuevas categoría o niveles se les atribuyó un número, un color y un nombre que se definió en términos "tiempo clave" o "tiempo máximo para el primer contacto con el médico" (García-Regalado et al., s. f.-b).

- Es realizado por enfermería.
- El MTS establece un sistema de clasificación de cinco niveles para evaluar la urgencia de atención de los pacientes.
- Cada nivel de clasificación se asocia con un número, un color y un nombre específico.
- Se definen en términos de "tiempo clave" o el tiempo máximo permitido para el primer contacto con el médico.

Tabla 3. Sistema de triaje de Manchester (MTS) (García-Regalado et al., s. f.-b).

<i>Evaluación</i>	<i>Color</i>	<i>Tiempo máximo de respuesta (en minutos).</i>
<i>Inmediata</i>	Rojo	0
<i>Muy urgente</i>	Naranja	10
<i>Urgente</i>	Amarillo	30
<i>Estándar</i>	Verde	90
<i>No urgente</i>	Azul	120

El emergency severity index (ESI): Es un sistema de triage que consta de cinco niveles y se utiliza para caracterizar a los pacientes en los servicios de urgencias. A diferencia de otros sistemas, el ESI evalúa tanto la agudeza de la enfermedad del paciente como los recursos necesarios para su atención. La inclusión de la evaluación de recursos es una característica distintiva del ESI que lo diferencia de otros sistemas de triage (García-Regalado et al., s. f.-b).

- Basa su clasificación por nivel en discriminadores y uso de recursos.
- No marca tiempos de espera, puesto el objetivo es atender cuanto antes a todos los pacientes.
- Para asignar nivel, no se tiene en cuenta el motivo de la consulta.

- Es realizado por enfermería mediante un algoritmo de preguntas.

Tabla 4. Sistema de triaje de Gravedad de Emergencia (ESI) (García-Regalado et al., s. f.-b).

<i>Nivel de Prioridad</i>	<i>Descripción</i>	<i>Atención</i>
<i>ESI 1</i>	Grave	Atendido inmediatamente
<i>ESI 2</i>	Mediana gravedad	Atendido a brevedad
<i>ESI 3</i>	Menos grave	Atendidos luego que los pacientes graves sean estabilizados.
<i>ESI 4</i>	Leve	Alto tiempo de espera
<i>ESI 5</i>	Atención general	Alto tiempo de espera

El sistema español de triaje (SET): El Sistema Español de Triage (SET), también conocido como "Model Andorrà de Triage" (MAT), surge como una adaptación conceptual de la Clasificación del Departamento de Emergencia de Canadá y Escala de Agudezas (CTAS). Este sistema transforma una escala basada en síntomas y diagnósticos centinela en una escala centrada en categorías sintomáticas con discriminantes clave, complementada por algoritmos clínicos en formato electrónico. Los principios fundamentales del SET son los siguientes: triaje de 5 niveles normalizado con un programa informático de gestión de triaje y otro que se dedica a ayudar a la decisión clínica en el triaje (PAT) (García-Regalado et al., s. f.-b).

- Usa discriminadores.
- Se realiza por enfermería, usando un modelo de triaje no excluyente, que prioriza la urgencia del paciente sobre cualquier otro planteamiento.
- Forma parte de un sistema más amplio de mejora continua de la calidad, con seguimiento de indicadores específicos relacionados con el triaje.
- Se plantea la integración del SET en un modelo global de historia clínica electrónica, asegurando la coherencia y accesibilidad de la información clínica.

Tabla 5. Sistema español de triaje (SET) (García-Regalado et al., s. f.-b).

<i>Nivel de prioridad</i>	<i>Descripción</i>	<i>Tiempo máximo de respuesta (en minutos)</i>
<i>Nivel I</i>	Crítico	Inmediato (0 minutos)
<i>Nivel II</i>	Emergencia	Inmediato por enfermería y 7 minutos por médico.
<i>Nivel III</i>	Urgencia	15 minutos.
<i>Nivel IV</i>	Estándar	30 minutos.
<i>Nivel V</i>	No urgente	40 minutos.

Tabla 6. Sistemas de triaje menos utilizados y de propósitos específicos (Sánchez-Bermejo et al., 2021)

Sistemas de Triage	Lugar	Niveles de prioridad	Características Especiales
<i>Korean Triage And Acuity Scale (KTAS)</i>	Corea	5	Dispone de una versión para adultos y otra pediátrica (PedKATS).
<i>Medical Emergency Triage and Treatment System (METTS)</i>	Suecia	5	Combina algoritmos clínicos y signos vitales.
<i>Echelle Liégeoise D'Index de Sévérité à L'Admission (ELISA)</i>	Francia	5	Identificación de los pacientes capaces de caminar y hablar.
<i>Classification Infirmière des Malades aux Urgences o French Emergency Nurses Classification in Hospital Scale</i>	Francia	6	Es uno de los pocos sistemas que contempla seis niveles de prioridad.
<i>Netherlands Triage System (NTS)</i>	Holanda	5	Válido tanto para los SUH como para el triaje telefónico.
<i>Taiwan Triage and Acuity Scale (TTAS)</i>	Taiwán	4	Cuenta con una herramienta de soporte de decisión clínica electrónica.
<i>Clinical Gps (cGPs)</i>	Estados Unidos	5	Niveles de prioridad en base a la demografía y datos de laboratorios.
<i>Swiss Emergency Triage Scale (SETS)</i>	Suecia	4	Fiabilidad moderada y altas tasas de subtraje debido a la falta de estandarización.
<i>The Soterion Rapid Triage System</i>	Estados Unidos	5	Análisis computarizado de los signos vitales.
<i>One-Two-Triage (OTT)</i>	Estados Unidos	4	Llamado así por las dos etapas de clasificación de los pacientes, según sea su gravedad.
<i>CLARIPED</i>	Brasil	5	Se evalúan cuatro signos vitales y se les asigna una puntuación.
<i>Emergency Triage Assessment and Treatment (ETAT)</i>	Suiza	3	Dirigido fundamentalmente a los pacientes pediátricos.
<i>Sistema de Triage 3M TAS</i>	España	5	Es un modelo de triaje avanzado. No se ha comprobado su implantación en ningún centro hospitalario.

Considerando la información previamente presentada, se puede afirmar que el triaje estructurado constituye un indicador crucial de calidad en los servicios de urgencias. Su objetivo principal es mejorar la eficiencia en el flujo de pacientes y reducir la variabilidad en la atención brindada. Este enfoque busca facilitar la labor de clasificación, especialmente para el personal de enfermería, mediante la implementación de principios fundamentales que caracterizan a los sistemas modernos de triaje. Entre estos principios destacan (García-Regalado et al., s. f.-b):

- Sistema de 5 niveles de priorización. Implementación de una clasificación estandarizada con cinco categorías, respaldada por un programa informático de gestión de triaje. Esto permite registrar la clasificación, controlar la ubicación de los pacientes dentro y fuera del servicio, y supervisar los tiempos de actuación. La clasificación por niveles agiliza la atención sanitaria, evita masificaciones y

previene la evolución de ciertos problemas de salud hacia estados más críticos (García-Regalado et al., s. f.-b).

- Modelo integrador. El sistema debe incorporar los aspectos más relevantes de los modelos actuales de triage de 5 categorías, adaptándolos y revisándolos según el entorno sanitario específico (García-Regalado et al., s. f.-b).
- Modelo de calidad. Se establece un modelo con objetivos operativos que sirven como indicadores de calidad del triage. Debe ser útil, fiable, relevante, válido y aplicable para garantizar la eficacia del proceso (García-Regalado et al., s. f.-b).
- Sistema no excluyente para médicos y enfermeros. Se prioriza la urgencia del paciente sobre estructuras o roles profesionales específicos, integrando tanto a médicos como enfermeros en un enfoque dinámico de servicio (García-Regalado et al., s. f.-b).
- Programa informático de ayuda a la decisión clínica. El modelo debe contar con un software evaluado y validado que asista en la toma de decisiones clínicas durante el triage. Este programa debe proporcionar ayuda continua y mantener un registro anamnésico del triage (Soler et al., 2010).
- Integración en un modelo de mejora continua. El sistema de triage debe formar parte de un modelo integral de mejora continua de la calidad, que incluya la monitorización de indicadores de calidad del triage y establezca estándares para los motivos de consulta en urgencias (Soler et al., 2010).
- Integración con la historia clínica electrónica. Se busca integrar el modelo en un sistema global de historia clínica electrónica, estandarizada y alineada con los estándares de calidad. Esto permite un control total de la gestión clínica y administrativa del área de urgencia (Soler et al., 2010).
- Adaptaciones estructurales y de personal. Esto con el fin de proponer adaptaciones específicas en la estructura y el personal del área de urgencias para satisfacer las necesidades de calidad del sistema de triage. Además, se destaca la importancia de la formación específica para el personal de triage (Soler et al., 2010).
- Sistema holístico: El sistema de triage estructurado debe ser aplicable tanto en entornos de urgencia hospitalaria como extrahospitalaria. Debe ser versátil, abarcando tanto a pacientes pediátricos como adultos, y adaptable a diversos tipos de hospitales, dispositivos o centros de asistencia (Soler et al., 2010).

Como no hay un criterio universalmente aceptado para determinar cuál es el sistema de triage más efectivo, cada servicio de salud decide implementar uno de acuerdo con sus propios estándares. En la actualidad, se destaca la necesidad de que dicho sistema haya sido evaluado en términos de fiabilidad, utilidad, reproductibilidad, aplicabilidad y validez, lo cual implica la importancia de contar con una consistente concordancia entre evaluadores (Ayuso Raya et al., 2013). Estos estudios son necesarios para establecer una buena concordancia inter-observador, conforme a las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y otros expertos (Jiménez et al., s. f.).

En México, la Norma Oficial Mexicana de los servicios de urgencias (NOM-027-SSA3-2013.pdf, s. f.), sugiere que la evaluación en urgencias se realice en los primeros diez minutos desde la llegada del paciente al servicio, y establece que el tiempo destinado al triage debe ser inferior a los cinco minutos. Aunque esta norma indica que la valoración debe ser

realizada por un médico, no especifica el sistema de triage a emplear. A pesar de esta omisión en la normativa, las instituciones de salud en México, especialmente aquellas con áreas de urgencia, han implementado modelos de triage empíricos basados en sistemas existentes.

Tabla 7. Sistema de triage modificado utilizado en algunas instituciones de salud en México (Velázquez-Guzmán et al., 2017)

Nivel	Prioridad	Categoría	Síntomas	Parámetros clínicos
Nivel I Rojo	Rojo	Categoría I	Paro cardiorrespiratorio, paciente que a su llegada está en RCP.	Presión arterial (mmHg)
				Sistólica <90 >200
Nivel II Anaranjado	Rojo	I	Pérdida del estado de alerta, focalización neurológica, pérdida de la agudeza de la visión, dificultad respiratoria aguda en reposo, dolor torácico y diaforesis, palidez, diaforesis, taquicardia e hipotensión. Pulso en extremidades ausente, frío, dolor con cambio de coloración, trauma mayor, hemorragia profusa, quemadura mayor en 20% de superficie corporal o eléctrica o de áreas especiales, golpe de calor, paciente finado.	Diastólica <60 >120
	Urgencia sentida			Frecuencia cardiaca (latido por minuto) <40 o >130
	Atención inmediata 10 minutos			Frecuencia respiratoria <10 >30
				Temperatura axilar (°C) <35.5 >40
				Saturación de oxígeno <70%
				Glucemia capilar <40 mg/dL >300 mg/dL
				Escala de coma de Glasgow menor a 8 puntos
				Pupilas fijas y dilatadas, piel fría (marmórea), rigidez, trazo electrocardiográfico isoelectrico
Nivel III Amarillo	Amarillo	Categoría II	Cefalea sin signos neurológicos, déficit neurológico mayor a 6 horas, obstrucción incompleta de la vía aérea, dificultad respiratoria moderada, dolor torácico atípico, dolor abdominal agudo, hematuria franca, deshidratación moderada, trauma menor, hemorragia moderada sin repercusión hemodinámica, paciente con quemadura en menos de 20% de superficie corporal en áreas no especiales, efectos secundarios leves a ingesta de fármacos o sustancias	Presión arterial (mmHg)
				Sistólica <110 >160
				Diastólica <80 >100
	Atención mediata 30-60 minutos			Frecuencia cardiaca (latido por minuto) >60 o <110
				Frecuencia respiratoria >16 o <24
				Temperatura axilar (°C) >36.5 o <38
				Saturación de oxígeno (%) >70 o <89
				Glucemia capilar (mg/dL) <60 o 180
				Escala de coma de Glasgow entre 9 y 12 puntos. Escala de Hunt y Hess grado I o II
Nivel IV Verde	Verde	Categoría III	Cefalea leve, gastroenteritis sin deshidratación y con tolerancia a la vía oral, contusiones menores, contusiones no recientes, afección crónica no agudizada, pacientes recomendados, enfermedad infecciosa que no requiere hospitalización (no sistémica)	Presión arterial (mmHg)
				Sistólica >100 <140
				Diastólica >60 <100
Nivel V Azul	Verde			Frecuencia cardiaca (latido por minuto) >60 o <100
	Urgencia sentida			Frecuencia respiratoria >16 o <20
	No existe límite para su atención			Temperatura axilar (°C) >36.5 o <38
				Saturación de oxígeno >90%
				Glucemia capilar (mg/dL) >70 mg/dL o <125
				Escala de coma de Glasgow entre 13 y 15 puntos.
				Escala de Hunt y Hess grado 0

En este sentido podemos citar el uso del sistema Andorrano (Benavente, 2014) de cinco colores por el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) a partir del año 2009 (Procedimiento para la clasificación de pacientes (triage) en el Servicio de Admisión Continua o Urgencias en Unidades Médicas de tercer nivel, s. f.), el proyecto SUMAR (Servicios de urgencias que mejoran la atención y resolución) propuesto e implementado por la Secretaría de Salud con el propósito de que este fuera utilizado en los hospitales públicos de México pero que no fue utilizado de hecho. En el 2015 el Consejo Mexicano de Triage

adopta como sistema de triage el Sistema Manchester, así mismo cabe resaltar que en México se maneja también un sistema de triage que es una modificación del canadiense, andorrano, inglés y del IMSS (RR.pdf, s. f.), el cual aparece en las guías de práctica clínica y tiene como objetivo optimizar la atención del paciente en la tabla 7 se presenta una descripción abreviada de este sistema de triage (García-Regalado et al., s. f.-b).

En el caso de México posiblemente como consecuencia de la fragmentación del Sistema de Salud Mexicano no existe una verdadera sistematización ni estandarización de este proceso a nivel nacional y además de esto se suma la falta de normativas que promuevan la existencia de un único sistema de triage homologado (García-Regalado et al., s. f.-b).

Capítulo III. Fundamentos teóricos: Árboles de decisión

El aprendizaje supervisado es una técnica en el campo del aprendizaje automático donde se emplean conjuntos de datos etiquetados para entrenar algoritmos. Estos algoritmos, que pueden clasificar datos o prever resultados con precisión, se entrenan utilizando datos de entrada y salida. En términos sencillos, el modelo aprende a predecir la salida correcta para cualquier conjunto de datos de entrada proporcionado.

Este tipo de aprendizaje se divide generalmente en dos categorías principales: clasificación y regresión. La clasificación se utiliza para prever la clase o categoría a la que pertenece una entrada específica, mientras que la regresión se utiliza para prever un valor numérico continuo.

En el ámbito de los métodos de aprendizaje supervisado, los basados en árboles de decisión se destacan por su accesibilidad. Estos métodos utilizan una estructura jerárquica para organizar un conjunto de condiciones. La decisión final se toma siguiendo el cumplimiento de estas condiciones desde la raíz del árbol hasta alguna de sus hojas.

Una ventaja significativa de los árboles de decisión es que, en su concepción más amplia, las opciones resultantes de una condición dada son mutuamente excluyentes. Esto implica que al analizar un caso siguiendo el árbol de decisión de manera adecuada, se llega a una única decisión a tomar. En las secciones siguientes, se examinará en detalle la estructura, funcionalidades y variantes de los árboles de decisión.

3.1. Árboles de Decisión características estructurales y sus usos

Un árbol de decisión es un método de aprendizaje supervisado sin parámetros, aplicado en situaciones de clasificación y regresión. Su configuración se presenta como una jerarquía arbórea, compuesta por un nodo inicial, ramificaciones, nodos intermedios y nodos terminales o nodos hoja (Johanna Orellana Alvear-, s. f.).

Las partes principales de un árbol de decisión son:

- **Nodo raíz.** Este nodo, representado gráficamente como un cuadrado, es siempre el primero en la ruta y simboliza la decisión inicial a tomar.
- **Nodo de decisión** Presenta la probabilidad o incertidumbre y se representa comúnmente como un círculo. Cada uno de estos nodos tiene sus propias ramas y se conecta a un nodo previo. Dichos nodos se enlazan entre sí mediante elementos llamados "ramas", que pueden utilizarse repetidamente en diversas combinaciones, dependiendo de la complejidad del árbol de decisiones.
- **Nodo terminal y hoja:** Representan un resultado y se visualizan como un triángulo. Son fácilmente identificables ya que no se dividen ni ramifican.

En el inicio de un árbol de decisión se encuentra un nodo raíz sin ramas entrantes. Las ramas que parten del nodo raíz conducen a los nodos internos, también llamados nodos de decisión. Tanto los nodos raíz como los internos llevan a cabo evaluaciones para crear subconjuntos

homogéneos, que se reflejan en nodos hoja o terminales. Estos nodos hoja abarcan todos los resultados posibles dentro del conjunto de datos (Johanna Orellana Alvear-, s. f.).

El proceso de aprendizaje de un árbol de decisiones utiliza una estrategia de "divide y vencerás", donde se lleva a cabo una búsqueda codiciosa para identificar los puntos de división óptimos en el árbol. Este algoritmo es recursivo, lo que implica que el proceso de división se repite continuamente de arriba hacia abajo, hasta que la mayoría o todos los registros se clasifican bajo etiquetas de clase específicas. Que todos los conjuntos de datos se lleguen a clasificar o no, como puede ser el caso en conjuntos homogéneos, depende en gran medida de la complejidad del árbol de decisión (Johanna Orellana Alvear-, s. f.).

En árboles más pequeños, es más sencillo obtener nodos hoja puros, lo que significa conseguir puntos de datos en una sola clase. No obstante, a medida que un árbol crece en tamaño, se vuelve cada vez más difícil mantener esta pureza y suele resultar en que haya muy pocos datos dentro de un subárbol específico. Cuando esto ocurre, se determina que hay una fragmentación de datos, y puede dar lugar a un sobreajuste (Johanna Orellana Alvear-, s. f.).

Los árboles de decisión deben añadir complejidad solo si es necesario, ya que, en general, la explicación más simple tiende a ser la mejor. Para reducir la complejidad y prevenir el sobreajuste, se recurre comúnmente a la poda. Este procedimiento implica la eliminación de ramas que se dividen en características con poca importancia. La evaluación del ajuste del modelo se puede realizar mediante el proceso de validación cruzada (Johanna Orellana Alvear-, s. f.).

Una manera adicional en que los árboles de decisión pueden preservar su precisión es mediante la formación de un conjunto a través de un algoritmo de bosque aleatorio. Este clasificador ofrece predicciones más precisas, especialmente cuando los árboles individuales no están interrelacionados (Johanna Orellana Alvear-, s. f.).

El análisis basado en árboles de decisión tiene diversos usos generales, como se detalla a continuación (Johanna Orellana Alvear-, s. f.):

- *Segmentación*: Identificación de personas que probablemente sean miembros de una clase específica.
- *Estratificación*: Asignación de casos a una de varias categorías, como grupos de alto riesgo, riesgo medio y bajo riesgo.
- *Predicción*: Creación de reglas para predecir eventos futuros. Esto puede implicar relacionar atributos predictivos con valores de una variable continua.
- *Reducción de datos y cribado de variables*: Selección de un subconjunto útil de predictores en un conjunto grande de variables para usar en la creación de un modelo paramétrico formal.
- *Identificación de interacción*: Reconocimiento de relaciones que pertenecen solo a subgrupos específicos y especificación en un modelo paramétrico formal.
- *Fusión de categorías y creación de tramos de variables continuas*: Recodificación de categorías de predictores de grupo y variables mínimas con una pérdida mínima de información.

Los árboles de decisión cuentan con las siguientes ventajas (Johanna Orellana Alvear-, s. f.):

- *Interpretabilidad*: Son intuitivos y fáciles de entender debido a su formato de diagrama de flujo, lo que permite analizar y explicar de manera práctica las predicciones del modelo.
- *Buena preparación de datos*: Ofrecen predicciones de calidad gracias a su tratamiento eficaz de valores perdidos y la estandarización de datos.
- *No es paramétrico*: No requiere suposiciones significativas o distribución obligatoria de datos para su construcción.
- *Versatilidad*: Pueden realizar varias funciones además de la predicción estándar, como explorar datos, resolver problemas de regresión y clasificación, así como abordar la segmentación de problemas.

Algunas desventajas de los árboles de decisión incluyen (Johanna Orellana Alvear-, s. f.):

- *Muchas funciones y muestreo de datos*: Aunque los árboles de decisión permiten considerar muchas variables y opciones, esta ventaja puede convertirse en una desventaja cuando se trata de conjuntos de datos desequilibrados, ya que el modelo puede sesgarse hacia algún resultado mayoritario.
- *No muestra mejoramiento*: Algunas variables pueden causar fugas de datos, lo que resultaría en una pérdida parcial o total de la buena interpretación del modelo.

3.1.1. Árboles de Regresión

Un árbol de regresión calcula un valor medio pronosticado para cada nodo en el árbol, los campos objetivos y de entrada son continuos, es decir, numéricos (Johanna Orellana Alvear-, s. f.).

Un árbol de regresión consiste en hacer preguntas de tipo $x_k \leq c$? para cada una de las covariables, de esta forma el espacio de las covariables es dividido en hiper-rectángulos y todas las observaciones que queden dentro de un hiper-rectángulo tendrán el mismo valor estimado \hat{y} (Hernández, s. f.).

En la figura 1, se ilustra el árbol en el lado izquierdo y la partición del espacio en el lado derecho. La partición del espacio se hace de manera repetitiva para encontrar las variables y los valores de corte c de tal manera que se minimice la función de costos $\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$ (Hernández, s. f.).

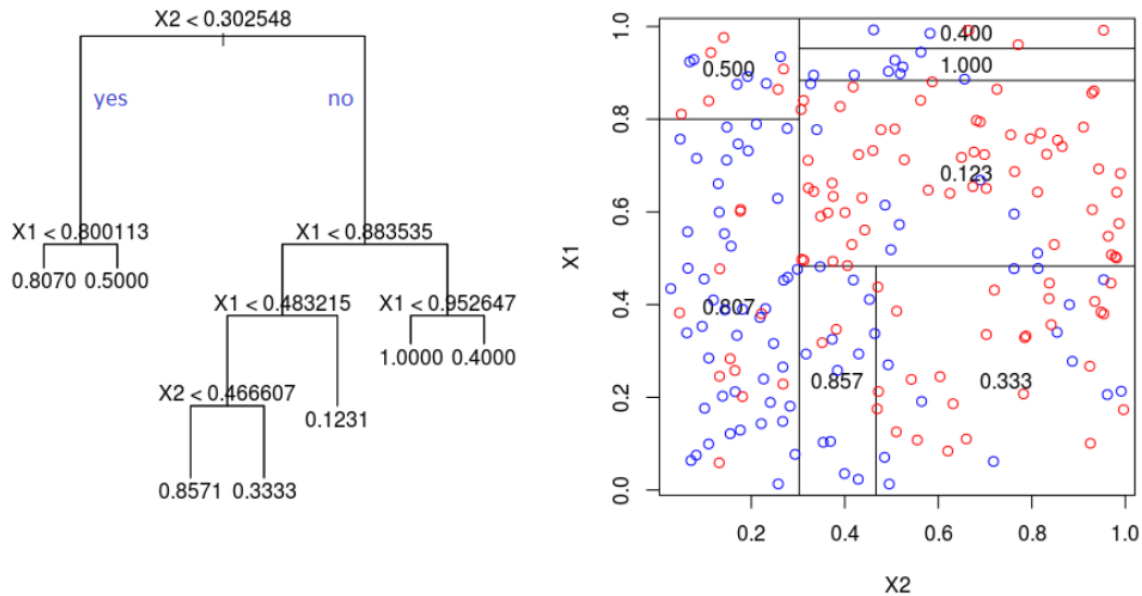


Figura 1. Funcionamiento de un árbol de regresión.

Los pasos para realizar la partición del espacio son (Hernández, s. f.):

1. Dado un conjunto de covariables (características), encontrar la covariable que permita predecir mejor la variable respuesta.
2. Encontrar el punto de corte "c" sobre esa covariable que permita predecir mejor la variable respuesta.
3. Repetir los pasos anteriores hasta que se alcance el criterio de parada.

Algunas de las ventajas de los árboles de regresión son:

- Fácil de entender e interpretar.
- Requiere poca preparación de los datos.
- Las covariables pueden ser cualitativas o cuantitativas.
- No exige supuestos distribucionales.

3.1.2 Árboles de Clasificación

Un árbol de clasificación calcula la categoría de destino pronosticada para cada nodo en el árbol, los campos objetivos y de entrada son categóricos (Johanna Orellana Alvear-, s. f.).

Un árbol de clasificación consiste en hacer preguntas del tipo $x_k \leq c$? para las covariables cuantitativas o preguntas del tipo $x_k = nivel_j$? para las covariables cualitativas, de esta forma el espacio de las covariables es dividido en hiper-rectángulos y todas las observaciones que queden dentro de un hiper-rectángulo tendrán el mismo valor del grupo estimado (Hernández, s. f.).

En la figura 2, se ilustra el árbol del lado izquierdo y la partición del espacio en el lado derecho. La partición del espacio se hace de manera repetitiva para encontrar las variables y los valores de corte "c" de tal manera que se minimice la función de costos $\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$ (Hernández, s. f.) .

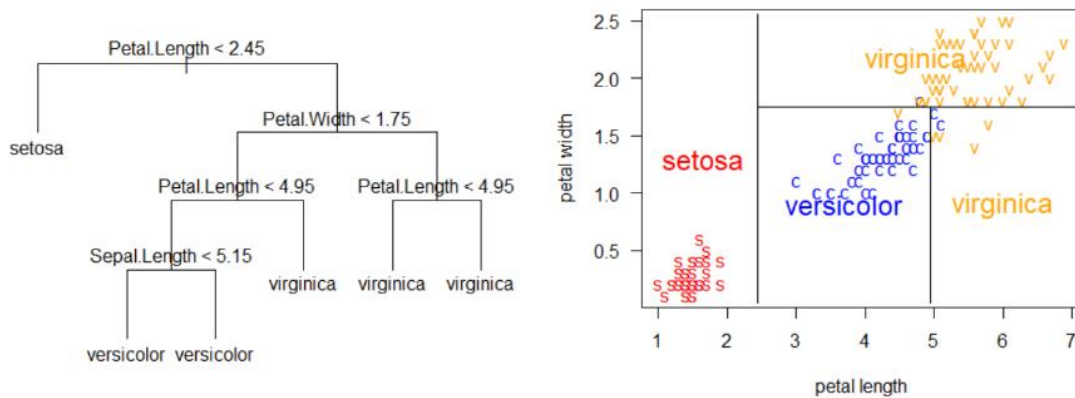


Figura 1. Funcionamiento de un árbol de clasificación.

3.2 Tipos de Árboles de decisión

Entre los diferentes algoritmos de árboles de decisión, a pesar de ser similares, hay algunas diferencias a recalcar, las cuales son (*Clasificación con Árboles de Decisión*, s. f.-a):

- *Campos de entrada:* Los predictores pueden ser de diferentes tipos, como continuos, categóricos, de marca, nominal u ordinal.
- *Campos de objetivo:* El objetivo del árbol puede ser continuo, categórico, de marca, nominal u ordinal.
- *Tipo de división:* Se refiere a la cantidad de ramificaciones permitidas en cada decisión, lo que puede ser binario o no binario.
- *Método utilizado para la división:* Los algoritmos varían en los criterios utilizados para decidir las divisiones. Esto puede incluir medidas de dispersión, desviación cuadrática mínima, pruebas de chi-cuadrado o teoría de la información.
- *Poda del árbol:* La poda del árbol es un proceso que implica la eliminación de ciertas ramas o nodos del árbol para evitar el sobreajuste. Es decir, elimina secciones del árbol que pueden haber sido creadas debido a ruido o características específicas del conjunto de entrenamiento que no son generalizables a nuevos datos. Esto se hace para mejorar la capacidad del modelo para generalizar a datos no vistos.
- *Generación de árboles interactivos:* Algunos algoritmos permiten la creación de árboles interactivos, que son modelos más complejos y dinámicos. Estos árboles pueden ajustarse o modificarse durante la interacción con el usuario o en tiempo real. Esto proporciona flexibilidad para adaptarse a cambios en los datos o permitir la intervención humana en el proceso de toma de decisiones.
- *Probabilidades previas:* Algunos algoritmos de árboles de decisión permiten la incorporación de probabilidades previas. Esto significa que se pueden asignar probabilidades iniciales a diferentes clases o resultados antes de que se realice el proceso

de clasificación. Estas probabilidades previas pueden influir en cómo se construye el árbol y cómo se toman las decisiones.

- Conjunto de reglas: Algunos árboles de decisión generan conjuntos de reglas claras y comprensibles que describen cómo se toman las decisiones en cada nodo del árbol. Cada regla representa una condición específica que conduce a una decisión. Este enfoque facilita la interpretación del modelo y brinda una comprensión detallada de cómo se realiza la clasificación en diferentes escenarios.

3.2.1 Random Forest

Random Forest es una técnica de aprendizaje automático utilizada para abordar problemas de regresión y clasificación. Este método se compone de una gran cantidad de árboles de decisión individuales que operan como un conjunto (Johanna Orellana Alvear-, s. f.).

El "bosque" generado por el algoritmo de bosque aleatorio se entrena mediante agrupamiento o agregación de arranque. El ensacado (bagging) es un meta-algoritmo de conjunto que mejora la precisión de los algoritmos de aprendizaje automático (Johanna Orellana Alvear-, s. f.).

En el algoritmo Random Forest, los resultados se determinan en función de las predicciones de múltiples árboles de decisión. La predicción se realiza tomando el promedio o la media de las salidas de varios árboles. A medida que aumenta el número de árboles en el bosque, se mejora la precisión del resultado (Johanna Orellana Alvear-, s. f.).

Random Forest se considera como una solución versátil en diversos problemas de ciencia de datos (Johanna Orellana Alvear-, s. f.). Aquí se destacan algunas de sus características y ventajas:

- Útil para regresión y clasificación.
- Combina un conjunto de modelos "débiles" en un modelo robusto.
- Sirve como una técnica para reducción de la dimensionalidad.
- Genera múltiples árboles, a diferencia del algoritmo CART.
- Cada árbol da una clasificación (vota por una clase). y el resultado final es la clase con mayor número de votos en todo el bosque (forest).
- Para regresión, se toma el promedio de las salidas (predicciones) de todos los árboles.

Características de un algoritmo de random forest (Johanna Orellana Alvear-, s. f.):

- Es más preciso que el algoritmo del árbol de decisiones.
- Proporciona una forma eficaz de gestionar los datos faltantes.
- Puede producir predicciones razonables sin ajuste de hiperparámetros.
- Resuelve el problema del sobreajuste presente en los árboles de decisión.
- En cada árbol del bosque aleatorio, se selecciona aleatoriamente un subconjunto de características en el punto de división del nodo.

3.2.2 Clasificación y regresión (C&R)

Este método genera un árbol de decisión para predecir o clasificar observaciones futuras. Utiliza la partición repetida para dividir los registros de entrenamiento, minimizando las

impurezas en cada paso. Un nodo se considera "puro" si el 100% de los casos corresponden a una categoría específica del campo objetivo. Puede trabajar con campos de entrada y objetivo continuos (rasgo numérico) o categóricos (ordinal, nominal o marca), y todas las divisiones son binarias (sólo se crean dos subgrupos) (*Clasificación con Árboles de Decisión*, s. f.-a).

3.2.3 CHAID

Este método genera árboles de decisión utilizando estadísticos de chi-cuadrado para identificar las divisiones óptimas. A diferencia de otros métodos, CHAID puede generar árboles no binarios, permitiendo más de dos ramas en algunas divisiones. Puede manejar campos de entrada y objetivo continuos o categóricos (*IBM Documentation*, 2021).

3.2.4 QUEST

Este método proporciona un método de clasificación binaria para generar árboles de decisión. Está diseñado para reducir el tiempo de procesamiento y la tendencia al sobreajuste. Los campos de entrada pueden ser continuos, pero el campo objetivo debe ser categórico, y todas las divisiones son binarias. (*Clasificación con Árboles de Decisión*, s. f.-a).

3.2.5 ID3

Desarrollado por Ross Quinlan, ID3 (Iterative Dichotomiser 3) utiliza entropía y ganancia de información como métricas para evaluar las divisiones de candidatos (*Clasificación con Árboles de Decisión*, s. f.-a).

3.2.6 C5.0

Genera árboles de decisión o conjuntos de reglas. Divide la muestra basándose en el campo que ofrece la máxima ganancia de información en cada nivel. Permite varias divisiones en más de dos subgrupos (*IBM Documentation*, 2021).

3.2.7 C4.5

Este algoritmo se considera una iteración posterior de ID3, que también fue desarrollado por Quinlan. Puede utilizar la ganancia de información o las proporciones de ganancia para evaluar los puntos de división dentro de los árboles de decisión (*Clasificación con Árboles de Decisión*, s. f.-a)..

3.2.8 Tree-AS

Es similar al nodo CHAID existente; sin embargo, el nodo Tree-AS es normalmente utilizado para procesar grandes cantidades de datos (Big Data) esto con el fin de crear un solo árbol y mostrar el modelo resultante en el visor de salida. El nodo genera un árbol de decisiones utilizando estadísticas de chi-cuadrado (CHAID) y así poder identificar divisiones opcionales. Este uso de CHAID puede generar árboles no binarios, es decir, que algunas

divisiones generarán más de dos ramas. Los campos de entrada y objetivo pueden ser continuos o categóricos (*IBM Documentation, 2021*).

3.2.9 CART

El término CART es una abreviatura de "árboles de clasificación y regresión" ("classification and regression trees") y fue introducido por Leo Breiman. Este algoritmo generalmente utiliza la impureza de Gini para identificar el atributo ideal para la división. La impureza de Gini mide la frecuencia con la que se clasifica incorrectamente un atributo elegido al azar. Cuando se evalúa usando la impureza de Gini, un valor más bajo es más ideal (*Clasificación con Árboles de Decisión, s. f.-b*).

3.3 Trabajos previos sobre a la problemática del triage automatizado

A lo largo de estos últimos años, ha habido algunos proyectos que han buscado auxiliar el triage médico, y facilitar la clasificación que se debe realizar. Buscando que sea un sistema automatizado, que ayude a reducir recursos. Entre algunos trabajos se pueden mencionar:

La creación de un activador automatizado para el apoyo a la decisión clínica de sepsis en el triaje del departamento de emergencias mediante el aprendizaje automático, desarrollado por Steven Horng, buscaron derivar un algoritmo de aprendizaje automatizado para identificar infecciones durante el triage médico, usando como datos relevantes: la edad del paciente, su género, complejión, presión sanguínea, ritmo cardiaco, escala del dolor, saturación de oxígeno, ritmo respiratorio y temperatura (Horng et al., 2021).

Clasificando los síntomas: diseño y evaluación del sistema de triage automatizado "babylon check", desarrollado por Katherine Middleton et al. Haciendo uso de herramientas actuales para la valoración de síntomas en línea de manera automatizada, aquí se buscó desarrollar un modelo computacional de clasificación, creando un sistema de clasificación automatizado implementado comercialmente llamado: "babylon check". Haciendo uso de una red de decisiones (Middleton et al., 2016).

Triage en los servicios de urgencia de atención primaria, desarrollado por Rancaño García. Diseñaron y validaron un sistema de triage para los servicios de urgencia de atención primaria, para ello se hizo uso de un árbol de decisiones para poder hacer una clasificación de niveles de prioridad. Para ello, toda la información pasa por tres fases: agrupación, evaluación y triage (Rancaño-García et al., 2013b).

ITriage, es una aplicación que está disponible para Android y IOS, así como para exploradores de Internet en idioma inglés. Permite buscar los síntomas utilizando un avatar o una lista ordenada alfabéticamente y seleccionar las causas de las dolencias desde las más comunes hasta las menos frecuentes. Posteriormente, la aplicación brindará las posibles enfermedades y sus tratamientos. Esta aplicación está orientada principalmente al personal de salud que tiene conocimientos avanzados en medicina. Adicionalmente, es capaz de recomendar hospitales, farmacias o médicos según lo requiera el usuario y además brinda información para poder pedir una cita, dando el tiempo de espera para ser atendido e

información de las salas de emergencia. Por último, esta aplicación le permite al usuario almacenar sus datos médicos en el dispositivo (Gutiérrez et al., s. f.).

Triage territorial, es una aplicación que está disponible para Android y IOS que integra dos tipos de Triage que son START Triage, para adultos y JUMP START para niños. Se encuentra disponible en inglés e italiano. La aplicación permite ingresar los síntomas y las posibles causas para determinar una posible aproximación a las clasificaciones del Triage (Gutiérrez et al., s. f.).

CTAS Triage Official, también conocida como Canadian Triage and Scale, es una aplicación para Android y IOS que guía al usuario a través de las quejas de los pacientes en la asistencia a los centros clínicos para asignar un nivel de prioridad. Se encuentra en inglés o francés dependiendo de la configuración del idioma del dispositivo. Esta aplicación está actualmente disponible para Canadá y permite ingresar los síntomas y las causas de las dolencias (Gutiérrez et al., s. f.).

EMS ACLS Guide, está disponible para Android y IOS en inglés. Es una aplicación utilizada por los paramédicos para realizar el Triage y manejar el trauma. Provee un acceso rápido y fácil de información vital asistida, dosis de medicamentos, pasos sencillos para leer el electrocardiograma, recopilación de síntomas y por último instrucciones para reanimación (Gutiérrez et al., s. f.).

Así mismo, se han hecho artículos buscando una implementación adecuada para este problema, de los cuales se podrían resaltar los siguientes métodos:

Weijia Lu et al. En su artículo usan una red neuronal de largo a corto plazo optimizado con el algoritmo de la mosca de la fruta para hacer una predicción clínica con base en los datos clínicos del paciente, datos que son preprocesados previamente con el modelo de FastText que sirve para poder representar conceptos médicos. La red neuronal en este caso es una red recurrente, que tiene memoria de largo a corto plazo que permite mejorar la predicción del modelo, siendo esta optimizada con el algoritmo de la mosca de la fruta en el cual una mosca va dejando un “aroma” en donde se acerca la mayoría de las moscas, siendo este escogido como valor optimo, mientras otras moscas empiezan a hacer lo mismo en otros puntos (Lu et al., 2020).

Minh Nguyen et al. Testearon cuatro algoritmos donde el árbol impulsado por gradiente logró el mejor desempeño, siendo este comparado con bosque aleatorio, regresión logística y red neuronal multicapa (Nguyen et al., 2021).

No obstante, Yoshihiko Raita en su artículo muestra que una red neuronal profunda logra un mejor desempeño incluso que el árbol impulsado con gradiente (Raita et al., 2019b).

En la tabla 8, se hace una comparativa de los diversos métodos que se han usado para resolver el problema y se habla de la precisión de estos a la hora de dar resultados.

Tabla 8. Tabla comparativa de precisión de los métodos utilizados en los sistemas de triage precedentes

Método	Precisión
<i>LSTM network + Fruit Fly Optimización</i>	0.817
<i>AutoScore-ShapleyVIC</i>	0.71
<i>Gradient Boosting</i>	0.88
<i>Random Forest</i>	0.86
<i>Logistic Regression</i>	0.84
<i>Freed-Foward Neural Networks</i>	0.85

Capítulo IV. Propuesta de Solución Diseño y Desarrollo

En este capítulo se explicará de forma detallada cada uno de los pasos que se tomaron para la realización de la presente tesis, así como se hablará de las diferentes herramientas que fueron necesarias para lograr los objetivos específicos planteados al inicio de este documento.

4.1. Escoger el tipo de triage

Una de las primeras cosas que se tuvo que considerar al momento de desarrollar este proyecto fue saber a qué tipo de triage nos íbamos a enfocar. Como ya se ha explicado con anterioridad, hay diferentes tipos de triage y cada uno tiene su utilidad en el campo de la medicina, entonces era esencial decidir cuál sería el triage donde podríamos enfocarnos para ser de mayor utilidad.

Para ello se hizo una colaboración con la Facultad de Medicina de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, donde gracias a la ayuda del Dr. Juan de Jesús Hernández Gómez, especialista en urgencias, se pudo tener un panorama más amplio sobre lo que era cada tipo de triage, entre los cuales cabe resaltar:

- **Triage de urgencias:** Este se realiza cuando hay un número masivo de víctimas, todos los pacientes suelen ser de urgencia por lo que en muchos casos se debe determinar cuál tiene una probabilidad mayor de supervivencia. En estos casos, una aplicación de triage no podría aportar mucho puesto muchas de estas decisiones son a percepción de los médicos que realizan dicho triage.
- **Triage prehospitalario:** Debe realizarse en un lugar cercano al desastre, donde normalmente hay personas especializadas para dichas situaciones de contingencia, donde usan tarjetones para clasificar a cada paciente y sea un proceso rápido. Este triage debe ser hecho forzosamente por personas especializadas, por lo que puede ser imprudente que alguien no capacitado realice el triage, así como una aplicación puede alentar el proceso masivo en que se realiza dicho triage.
- **Triage hospitalario:** Este triage suele realizarse en hospitales, por un médico especializado en compañía de algún personal de enfermería. La gravedad de los pacientes puede variar desde no ser un caso necesariamente grave a ser una situación de urgencia. Una aplicación puede ser de utilidad para ayudar a tener una clasificación más rápida, así como ser un apoyo para el personal que realiza dicho trabajo.

Es debido a lo anterior, se decidió que el área de triage dónde se podía ser más útil era en el triage hospitalario.

4.2. Investigación de campo

Algo esencial para la realización de este proyecto fue saber cómo funciona el triage, si bien hay documentación que habla sobre cómo se realiza la clasificación de los pacientes de acuerdo con sus signos vitales, eso no abarca la experiencia que es la realización del triage por parte del personal médico. Es por eso por lo que, para poder entender mejor el proceso, fue necesario hacer una investigación de campo y ver de primera mano la realización del triage.

Se asistieron a dos hospitales diferentes, el primero fue el Hospital General del Sur en Puebla, en la zona de urgencias, y el segundo fue en el IMSS Hospital General ubicado en Tehuacán. Fue ahí donde se pudo observar todo el proceso que realiza el personal de la salud para la clasificación de los pacientes.

Ahí se pudo observar que si bien se usan los signos vitales como son: la temperatura, la frecuencia respiratoria y la presión arterial. Hay cosas que infiere el médico que realiza este triage, como es si el paciente puede vocalizar oraciones completas, la zona del dolor, si es una mujer embarazada, su edad, es decir que se necesita un contexto para atender al paciente y dentro de ese contexto el médico debe decidir cuál es la clasificación.

En base a eso se entendió que, al realizar esta aplicación, necesitábamos que fuera flexible, ya que si bien esta está diseñada para dar un veredicto y clasificar al paciente, también depende mucho de la persona que realiza el triage y que esta pueda tomar la decisión de cambiar la clasificación en beneficio de que el paciente reciba la mejor atención médica, por ello se pensó en implementar una retroalimentación para que dicha aplicación pueda corregir y hacer un mejor trabajo en la realización del triage.

4.3 Atributos importantes

En el triage, los atributos a considerar para realizar la clasificación del paciente son los siguientes:

- Genero
- Edad
- Saturación de Oxígeno
- Temperatura corporal
- Presión arterial
- Frecuencia Respiratoria

Esos serían los principales atributos que tener a consideración, pero en base a la investigación de campo, se podría agregar la condición del paciente con el comatose de Glawson, el cual se encarga de evaluar el nivel de conciencia del paciente. También se debe considerar en muchos casos si el paciente tiene hipertensión o diabetes, y en el caso de las mujeres si está embarazada.

Otra cosa que se tomó a consideración fue en el caso de urgencias, cuando una persona viene herida, la zona donde está afectada y el nivel de sangre que hay en la herida, si es que hay una herida. Todo esto desemboca a que los atributos importantes sean estos:

- Genero
- Edad
- Saturación de Oxígeno
- Temperatura corporal
- Presión arterial
- Frecuencia Respiratoria
- Escala de coma de Glawson
- Embarazo
- Zona afectada
- Nivel de sangrado

4.4 Metodología

Una vez que se es consciente de los datos que se van a trabajar, se tuvo que escoger la metodología por la que se iba a realizar la clasificación. Para ello es necesario saber que se consideró el poder usar tanto árboles como redes neuronales, al final se decidió usar árboles debido a la versatilidad de este método, ya que este puede proporcionar una representación clara y comprensible al momento de tomar la decisión, en este caso, la clasificación del paciente.

Una vez decidido el método para clasificación, era necesario saber qué tipo de árbol se desenvolvería mejor para la tarea, por lo que después de hacer la comparación de trabajos anteriores se pudo hacer una comparación sobre la afectividad, como se puede apreciar en la tabla 9. Donde los métodos que han dado un mejor rendimiento son el “Grandient Boosting” y el “Random Forest”, para ello es importante saber que si bien el “Grandient Boosting” ha mostrado un gran rendimiento como metodología de árboles de decisión puede no tener una gran diferencia con el “Random Forest” que puede ser más rápido y esa velocidad puede ser importante al momento de hacer el triage, puesto recordemos que este se debe realizar en un periodo de 3 a 5 minutos.

Para poder decidir mejor que tipo de árbol se utilizaría, se hizo una pequeña base de datos inicial con 50 registros de pacientes, entre los que estaban los casos que se pudieron observar en la investigación de campo, ejemplos que se pueden obtener en internet y complementos realizados por IA en ChatGPT. Esto debido a que, como se ha comentado antes, no hay como tal una base de datos que almacene el historial de pacientes con su debida clasificación, por lo que era necesario hacer una base de datos de cero con toda la información que se tuviera disponible y que conforme fuera usada en situaciones reales empezara a volverse una base de datos más robusta.

Una vez que se contaba con dicha base de datos, se implementó un algoritmo de árboles diferente con cada una, sientos los métodos escogidos para dichas pruebas:

- Árbol de decisión
- Random forest
- Gradient Boosting

Para ello, se escogió como lenguaje de programación a Python, debido a que es un lenguaje de alto nivel el cual es muy versátil, que puede ser fácilmente utilizado en proyectos de machine learning, minería de datos y desarrollo web, como en este caso se busca realizar. Así mismo, posee una gran variedad de librerías que facilitan la implementación de árboles.

En estas pruebas, los resultados fueron los siguientes:

Árbol de Decisiones

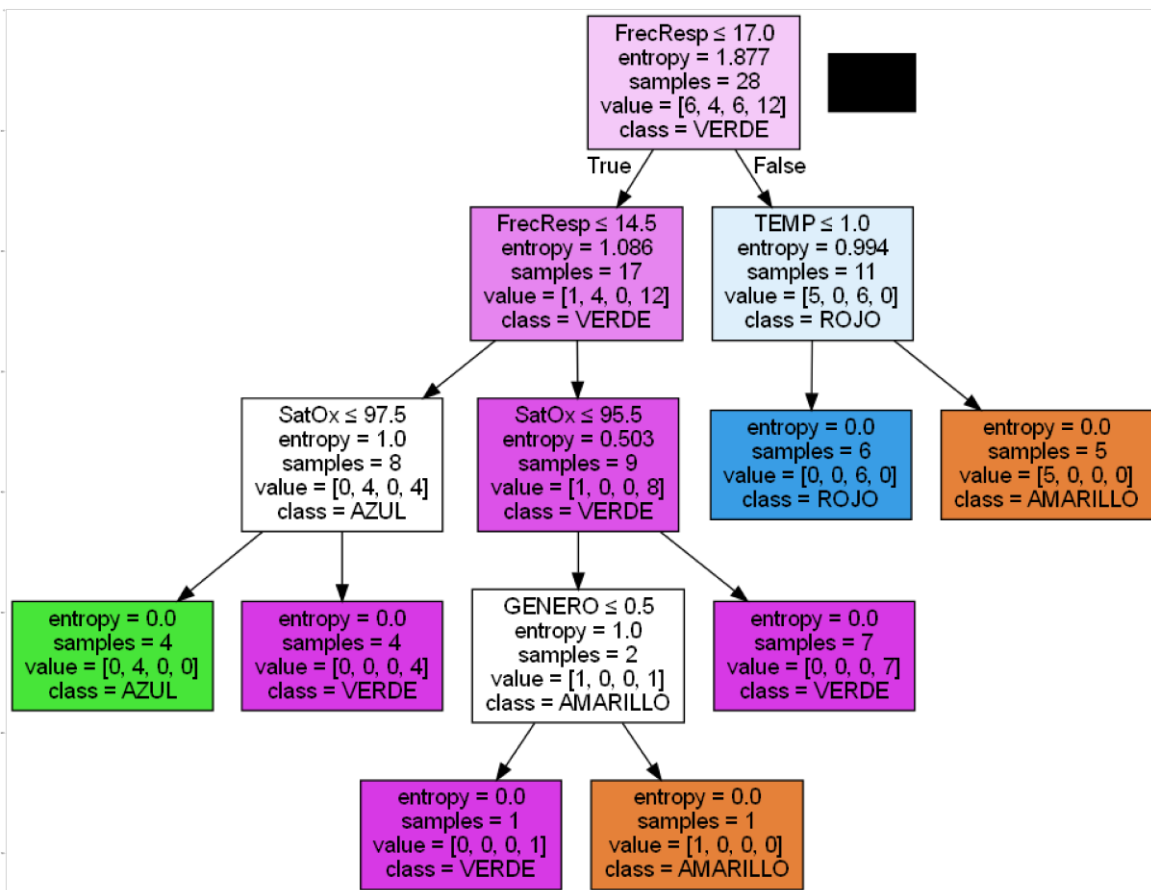


Figura 3. Árbol de decisiones generado a través de Python

Como se puede apreciar en la figura 3, la realización del árbol de decisiones toma como el primer atributo importante la frecuencia respiratoria, de ahí se va decantando a los atributos de temperatura y saturación de oxígeno, tomando como último criterio el género y la edad del paciente para realizar dicha clasificación. Siendo los atributos de interés la frecuencia respiratoria y la temperatura corporal del paciente. Este árbol tuvo un buen rendimiento, con

una precisión de 0.8333333333333334, que a pesar de su sencillez dio resultados aceptables al momento de hacer la clasificación.

Random Forest

```

=== Stratified cross-validation ===
=== Summary ===

Correctly Classified Instances      36           87.8049 %
Incorrectly Classified Instances    5           12.1951 %
Kappa statistic                    0.8257
Mean absolute error                 0.1076
Root mean squared error             0.2097
Relative absolute error             30.1403 %
Root relative squared error         49.6301 %
Total Number of Instances          41

=== Detailed Accuracy By Class ===

                TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
                -----  -----  -
                0.500    0.027    0.667     0.500    0.571     0.539    0.973    0.817    AZUL
                0.938    0.080    0.882     0.938    0.909     0.849    0.989    0.981    VERDE
                0.818    0.067    0.818     0.818    0.818     0.752    0.905    0.899    AMARILLO
                1.000    0.000    1.000     1.000    1.000     1.000    1.000    1.000    ROJO
Weighted Avg.   0.878    0.052    0.873     0.878    0.874     0.829    0.967    0.948

=== Confusion Matrix ===

 a  b  c  d  <-- classified as
 2  1  1  0  |  a = AZUL
 0 15  1  0  |  b = VERDE
 1  1  9  0  |  c = AMARILLO
 0  0  0 10  |  d = ROJO

```

Figura 4. Pruebas en weka con random forest

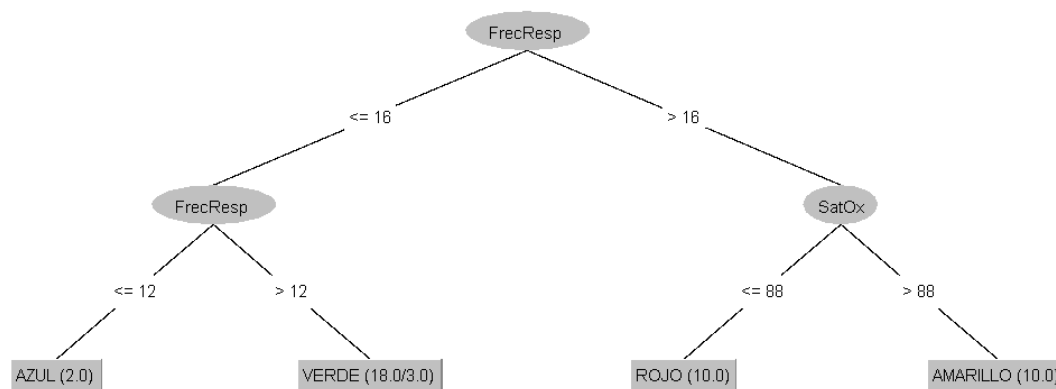


Figura 5. Arbol en weka con random forest

Como se puede apreciar en la figura 4, se optó hacer las pruebas directamente con WEKA debido a que tiene métodos especializados para la minería de datos y la clasificación, entre los que podemos encontrar el Random Forest, fue por medio de esto que se puede apreciar el

árbol generado en la figura 5, donde se puede notar que el primer atributo a tomar a consideración es la frecuencia respiratoria y posteriormente la saturación de oxígeno. El rendimiento de dicho método fue bueno, ya que tuvo una precisión del 0.87, dando un resultado ligeramente mejor que el anterior.

Gradient Boosting

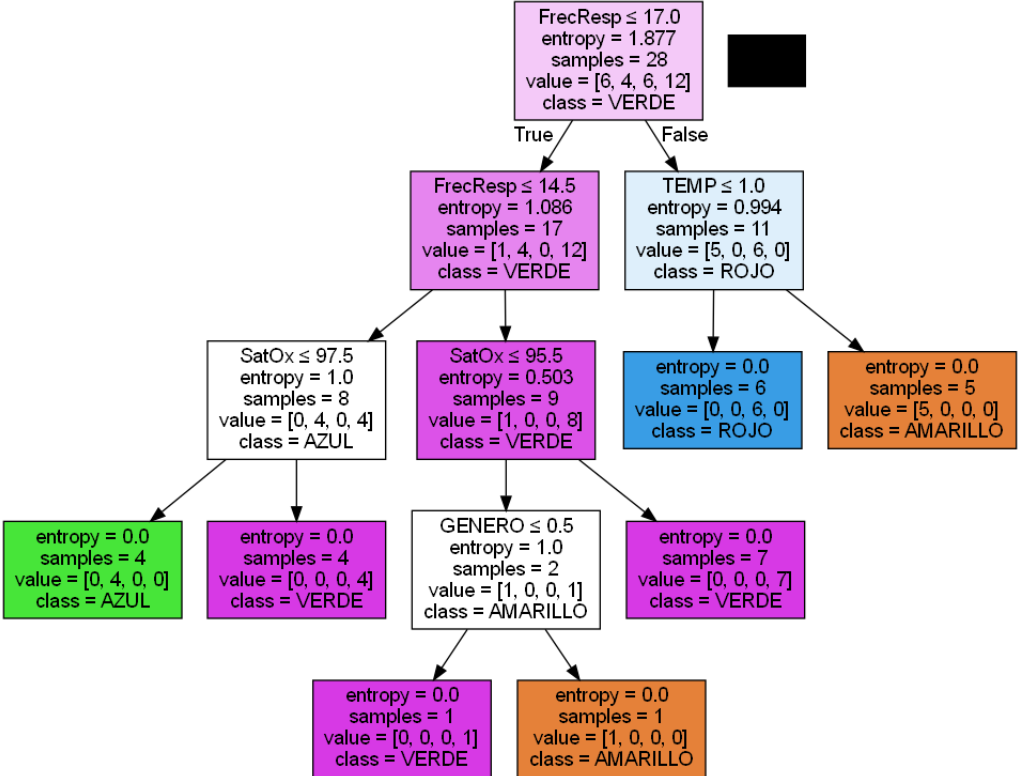


Figura 6. Árbol de decisiones generado a través de Python

En la figura 6, se puede apreciar que este método generó un árbol similar al generado con el árbol de decisiones, también partiendo desde la frecuencia respiratoria, para posteriormente empezar a tomar otros atributos a consideración como son la temperatura, la saturación de oxígeno, el género y la edad. Teniendo una precisión de 0.912, siento el método que mejores resultados dio.

Aquí se puede apreciar que el método de “Gradient Boosting” es el que mejor rendimiento muestra, pero por muy poco con respecto al “Random Forest”, por lo que se abre la posibilidad de que ambos métodos sean adecuados para el problema que buscamos resolver. Para ello se aumentó la base de datos, que inicialmente era de 50 registros, a 150 registros, y hacer que el set de entrenamiento fuera más variable, para evitar cualquier sesgo por parte del programa al momento de hacer la clasificación. Una vez terminadas las pruebas, se decantó por el “Random Forest” como método principal de clasificación, debido a la poca

diferencia que había entre este y el “Gradient Boosting” y la velocidad de clasificación de este.

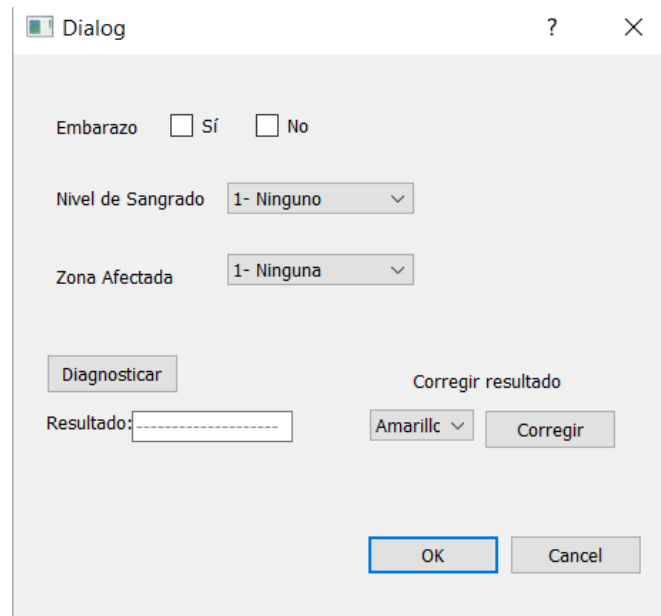
Capítulo V. Resultados

En este capítulo abordaremos todos los resultados obtenidos, a partir de lo ya mencionado en el desarrollo, así como la muestra de una interfaz preliminar.

5.1 Interfaz

Considerando los casos de mayor gravedad donde pueden venir personas heridas, se ha tomado como primera pantalla, como se muestra en la ilustración 3. Esta primera pantalla preguntará información prioritaria como es saber si el paciente, de ser mujer, está embarazada, si el paciente tiene algún nivel de sangrado y cuál es su zona afectada. En este diagnóstico inicial es para descartar inicialmente todos los casos de gravedad, es decir, los que puedan ser código amarillo o rojo, por lo que una vez hecho este diagnóstico dependiendo del resultado la pantalla se cerrará o abrirá una siguiente ventana de triage.

Esto se hace con el fin de que los casos donde la gravedad del paciente sea muy obvia a percepción de la persona que hace el triage, no se pierda mucho tiempo en el diagnóstico y se pueda tener un registro que siga alimentando nuestra base de datos.



The image shows a software dialog box titled "Dialog" with a question mark icon and a close button (X). The dialog contains the following elements:

- Embarazo:** Two radio buttons labeled "Sí" and "No".
- Nivel de Sangrado:** A dropdown menu with the selected value "1- Ninguno".
- Zona Afectada:** A dropdown menu with the selected value "1- Ninguna".
- Buttons:** A "Diagnosticar" button and a "Corregir resultado" button.
- Resultado:** A text input field followed by a dropdown menu currently showing "Amarillo" and a "Corregir" button.
- Footer:** "OK" and "Cancel" buttons.

Figura 7. Primera pantalla de la interfaz

Si el diagnóstico inicial no es clasificado entre amarillo o rojo, al dar ok se abrirá automáticamente esta nueva ventana, donde vienen las características del triage principal. Como se muestra en la figura 8, se deberá ingresar la siguiente información del paciente: género, edad, si tiene diabetes, si tiene hipertensión, temperatura, su nivel de consciencia con respecto a la escala de Glasgow, saturación de oxígeno, frecuencia respiratoria y presión arterial.

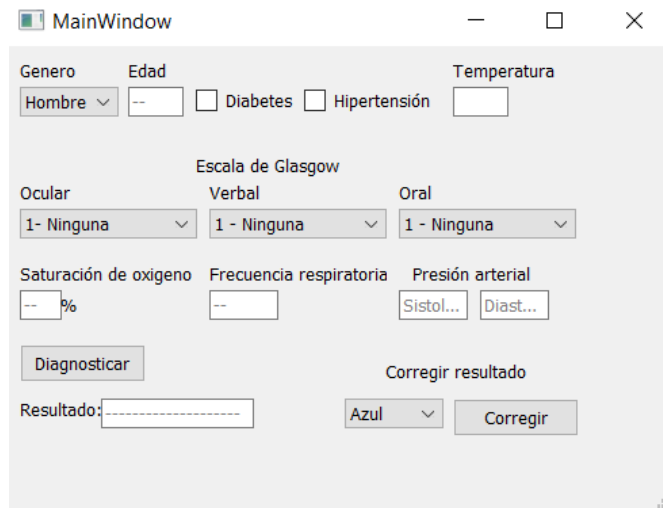


Figura 8. Segunda pantalla de la interfaz

Como se puede apreciar en la figura 9, para facilitar el cálculo de la escala de Glasgow se dividió en tres secciones con opciones desplegadas con respecto a la respuesta corporal ocular, verbal y oral. En cada sección se pone una pequeña descripción donde la persona que realiza el triage pueda poner qué tipo de respuesta tiene el paciente.

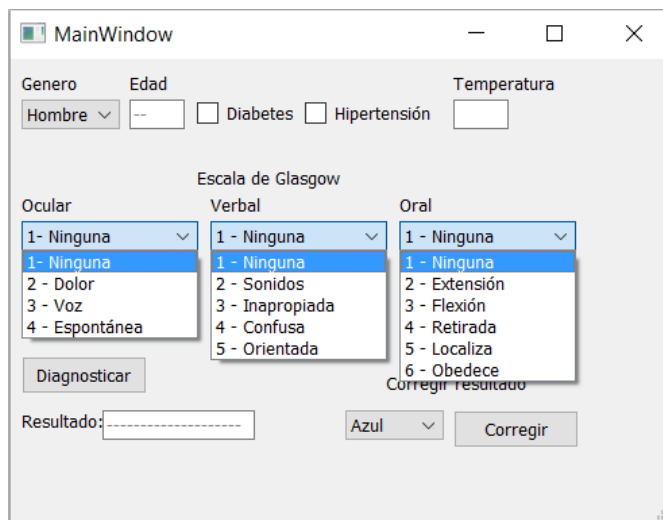


Figura 9. Muestra detallada de cómo se ingresa la escala de Glasgow

En la figura 10, se puede apreciar un ejemplo de clasificación de la aplicación, donde el resultado de esta se ve reflejado en la parte inferior de la interfaz.

MainWindow

Genero: Hombre | Edad: 42 | Diabetes | Hipertensión | Temperatura: 37

Escala de Glasgow

Ocular: 4 - Espontánea | Verbal: 5 - Orientada | Oral: 6 - Obedece

Saturación de oxígeno: 92 % | Frecuencia respiratoria: 30 | Presión arterial: 120 / 80

Diagnosticar

Resultado: AMARILLO

Corregir resultado: Azul | Corregir

Figura 10. Ejemplo de clasificación

Como se comentó antes, mucho del triage también depende del contexto que se tiene del paciente cuando se realiza dicha clasificación, y ese contexto sólo lo puede ver la persona que mira el triage, por lo que si dicha persona no está de acuerdo con el resultado y considera que la clasificación es otra puede corregirla, como se puede observar en la figura 11.

MainWindow

Genero: Hombre | Edad: 42 | Diabetes | Hipertensión | Temperatura: 37

Escala de Glasgow

Ocular: 4 - Espontánea | Verbal: 5 - Orientada | Oral: 6 - Obedece

Saturación de oxígeno: 92 % | Frecuencia respiratoria: 30 | Presión arterial: 120 / 80

Diagnosticar

Resultado: AMARILLO

Corregir resultado: Azul (dropdown menu open) | Corregir

Figura 11. Corrección de la clasificación

Una vez hecho eso, la persona que está usando la aplicación podrá cerrar la ventana, y el nuevo paciente se agregará a la base de datos de pacientes que se tiene. Esto con el fin de poder retroalimentar la aplicación y que sus resultados sean cada vez más certeros.

Capítulo VI. Conclusiones y Trabajos a Futuro

En la presente tesis, se realizó una investigación la cual no se limitó a la documentación del tema, sino también nos llevó a experimentar de primera mano todo el proceso que conlleva hacer un triage. Es por eso por lo que se pudo comprender que al realizar esta aplicación se debía tener consciencia tanto del paciente como de la persona que realizaría el triage y aunque se busca la rápida clasificación de los pacientes, estos dependen del contexto de lo que sienten, de cómo se encuentran, de la forma en que hablan o se mueven al momento de la consulta, y esto sólo lo puede observar la persona que realiza el triage.

Esto nos lleva al entendimiento que al hacer este proyecto no se debe buscar nunca la sustitución del personal de la salud, sino ser un apoyo para el mismo y que la aplicación debe ser flexible y estar abierta a modificaciones por parte de la persona que realice el triage.

También se tuvo que considerar que hay casos que pueden ser más graves que otros, como es el caso de las mujeres embarazadas y las personas heridas. Los cuales se toman como prioridad al momento de hacer la clasificación.

Como trabajo a futuro se considera poder ampliar el tipo de pacientes que se puedan registrar, por ahora la base de datos que tenemos sólo trabaja con pacientes entre los 18 y 60 años, debido a que si se trabajara con niños o ancianos se necesitaría otro tipo de triage debido a los cambios que puede haber en el diagnóstico ante un síntoma debido a la edad. Lo anterior implica añadir condiciones que aún no han sido consideradas, como es el caso de quemaduras, que es una idea que se piensa implementar en un futuro.

Así mismo, lo mostrado hasta ahora es una interfaz preliminar hecha en Python, pero la idea es poder montar esto en una aplicación web que sea responsiva, para el uso en celular, y montar la información a un servidor. Esto con el fin de no tener que hacer ninguna instalación y cualquier persona que lo necesite pueda acceder desde donde esté.

Referencias

- Avilés-Martínez, K. I., López-Enríquez, A., Luévanos-Velázquez, A., Jiménez-Pérez, B. A., García-Armenta, Ma. B., Ceja-Moreno, H., Santos-Hernández, M., Montaña-Dorado, C. J., López-Altamirano, D., & Álvarez-Venegas, G. (2016). Triage: Instrumentos de priorización de las urgencias pediátricas. *Acta Pediátrica de México*, 37(1), 4. <https://doi.org/10.18233/APM37No1pp4-16>
- Benavente, R. A. S. (2014). TÍTULO SISTEMA DE TRIAJE EN URGENCIAS GENERALES.
- Clasificación con Árboles de Decisión: El algoritmo CART. (s. f.). Codificando Bits. Recuperado 11 de enero de 2023, de
- García-Regalado, J. F., Arellano-Hernández, N., & Loría-Castellanos, J. (s. f.). Triage hospitalario. Revisión de la literatura y experiencia en México.
- Gómez-Jiménez, J., Becerra, Ó., Boneu, F., Burgués, L., & Pàmies, S. (2006). Análisis de la casuística de los pacientes derivables desde urgencias a atención primaria. *Gaceta Sanitaria*, 20(1), 40-46.
- Gutierrez, A. P., Rocha Sabogal, P. A., & Álvarez Valencia, L. (2016). TAppi - Triage Application.
- Hernández, F. (s. f.). 1 Árboles de regresión | Modelos Predictivos. Recuperado 12 de diciembre de 2023, de https://fhernanb.github.io/libro_mod_pred/arb-de-regre.html
- Horng, S., Liao, R., Wang, X., Dalal, S., Golland, P., & Berkowitz, S. J. (2021). Deep learning to quantify pulmonary edema in chest radiographs. *Radiology: Artificial Intelligence*, 3(2), e190228. <https://www.codificandobits.com/blog/clasificacion-arboles-decision-algoritmo-cart/>
- IBM Documentation. (2021, agosto 18).
- Johanna Orellana Alvear - johanna.orellana@ucuenca.edu.ec. (s. f.). Arboles de decision y random forest. <https://bookdown.org/content/2031/arboles-de-decision-parte-i.html>
- Leeies, M., Ffrench, C., Strome, T., Weldon, E., Bullard, M. J., & Grierson, R. (2016). Prehospital application of the Canadian triage and acuity scale by emergency medical services. *Canadian Journal of Emergency Medicine*, 19(1), 26-31. <https://doi.org/10.1017/cem.2016.345>

- Lu, W., Ma, L., Chen, H., Jiang, X., & Gong, M. (2020). A clinical prediction model in health time series data based on long short-term memory network optimized by fruit fly optimization algorithm. *IEEE Access*, 8, 136014-136023.
- Middleton, K., Butt, M., Hammerla, N., Hamblin, S., Mehta, K., & Parsa, A. (2016). Sorting out symptoms: design and evaluation of the 'babylon check' automated triage system. arXiv preprint arXiv:1606.02041.
- Nguyen, M., Corbin, C. K., Eulalio, T., Ostberg, N. P., Machiraju, G., Marafino, B. J., ... & Chen, J. H. (2021). Developing machine learning models to personalize care levels among emergency room patients for hospital admission. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 28(11), 2423-2432.
- Norma Oficial Mexicana NOM-027-SSA3-2013, Regulación de los servicios de salud. Diario Oficial de la Federación, DOF:04/09/2013. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5312893&fecha=04/09/2013#gsc.tab=0
- Oncosalud. (s. f.). ¿Cuáles son las diferencias entre una emergencia y una urgencia? Recuperado 18 de noviembre de 2023, de <https://blog.oncosalud.pe/cuales-son-las-diferencias-entre-una-emergencia-y-una-urgencia>
- Piñero Pérez, R., Muñoz Archidona, C., Parte Cancho, M. de la, Mora Sitjà, M., Hernández Martín, D., Casado Verrier, E., Carabaño Aguado, I., Piñero Pérez, R., Muñoz Archidona, C., Parte Cancho, M. de la, Mora Sitjà, M., Hernández Martín, D., Casado Verrier, E., & Carabaño Aguado, I. (2017). Hiperfrecuentadores en Urgencias Pediátricas: ¿es toda la culpa de los padres? *Pediatría Atención Primaria*, 19(74), 137-145.
- Raita, Y., Goto, T., Faridi, M. K., Brown, D. F., Camargo, C. A., & Hasegawa, K. (2019). Emergency department triage prediction of clinical outcomes using machine learning models. *Critical care*, 23(1), 1-13.
- Rancano-García, I., Cobo-Barquín, J. C., Cachero-Fernández, R., Noya-Mejuto, J. A., Delgado-González, J. M., & Hernández-Mejía, R. (2013). Triage en los servicios de urgencia de atención primaria (sistema de triaje en atención primaria). *SEMERGEN-Medicina de Familia*, 39(2), 70-76.

- Sánchez-Bermejo, R., Herrero-Valea, A., Garvi-García, M., Sánchez-Bermejo, R., Herrero-Valea, A., & Garvi-García, M. (2021). Los sistemas de triaje de urgencias en el siglo XXI: Una visión internacional. *Revista Española de Salud Pública*, 95. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1135-57272021000100201&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Soler, W., Muñoz, M. G., Bragulat, E., & Álvarez, A. (2010). El triaje: Herramienta fundamental en urgencias y emergencias Triage: A key tool in emergency care. *An. Sist. Sanit. Navar.*, 33.
- Velázquez-Guzmán, M. A., Morales-Hernández, A. E., Fonseca-Carrillo, I., & Brugada-Yáñez, A. (2017). Correlación clínica del triaje con el diagnóstico clínico de ingreso y egreso realizado en los pacientes que acuden al servicio médico de urgencias de un hospital privado. *Medicina interna de México*, 33(4), 466-475.