

Resumen ejecutivo proyecto
PREDICTOR DE FIBROSIS POR ECOGRAFÍA (PFE)

19-10-2025

Cristian René Méndez Gacharná
Mateo Parra Ochoa
Carlos Andrés García Gómez

Definición de la Problemática

La Enfermedad Hepática Grasa Asociada a Disfunción Metabólica (MASH) se ha consolidado como la principal causa de enfermedad hepática crónica a nivel mundial, con una prevalencia que aumenta de forma paralela a las epidemias de obesidad y diabetes tipo 2. El principal desafío clínico radica en la progresión silenciosa de la esteatosis hacia la fibrosis hepática significativa (estadios F \geq 2), la cual marca el punto de inflexión para el desarrollo de complicaciones severas, como la cirrosis descompensada, el fallo hepático y el carcinoma hepatocelular.

Los métodos diagnósticos actuales presentan limitaciones operativas y de acceso poblacional. La biopsia hepática, aunque es el estándar para detección de la enfermedad, es invasiva, costosa, propensa a errores de muestreo e inviable para el monitoreo de rutina. Los métodos no invasivos basados en rigidez (elastografía), si bien son precisos, requieren equipos especializados de alto costo y personal entrenado, lo cual restringe el uso a centros no especializados. Finalmente, los scores séricos (FIB-4, APRI) son útiles para descartar fibrosis, pero su baja especificidad a menudo genera una zona gris de resultados indeterminados, lo que conduce a la sobrecarga de los sistemas de imagen especializados. En consecuencia, existe una brecha crítica en la capacidad del sistema de salud para identificar de manera temprana y masiva a los pacientes que requieren intervención, lo que retrasa el tratamiento y eleva la morbi-mortalidad.

Conceptos Clave

- **Fibrosis Hepática:** Se caracteriza por la acumulación de tejido fibroso o cicatrizal en el parénquima hepático (el órgano). Es una secuela de daño crónico o grave en el hígado. Sus etapas van desde leve hasta severa, culminando en cirrosis hepática (F4).
- **EHNA/MASH:** Una condición heterogénea que incluye hígado graso y esteatohepatitis hepática no alcohólica. Se caracteriza por la acumulación de grasa en el hígado y está relacionada con patologías como obesidad, diabetes mellitus y dislipidemias. Su cronicidad provoca inflamación permanente que lleva a la fibrosis.
- **Impacto de la Enfermedad:** Es una enfermedad con distribución mundial, que afecta especialmente a adultos con las condiciones mencionadas. Contribuye a una alta morbilidad y mortalidad, siendo una causa importante de trasplante

hepático. Las complicaciones severas incluyen ascitis, hemorragias y encefalopatías. Clasifique correctamente el estadio de fibrosis hepática de un paciente con base en parámetros clínicos (APRI y FIB-4) y en una ecografía como imagen de diagnóstico, que ofrece menos información, pero cuya obtención es más práctica.

- **Estadíos escala METAVIR:** F0 (normal), F1 (fibrosis portal), F2 (fibrosis periportal), F3 (fibrosis septal) y F4 (cirrosis) .

Entendimiento del Negocio

El valor del proyecto radica en ofrecer una solución automatizada de bajo costo y alta disponibilidad que optimice el flujo de trabajo diagnóstico y reduzca la carga económica para la detección y clasificación de los estadios de la enfermedad hepática crónica con base en parámetros clínicos (APRI y FIB-4) e imágenes de ecografía en modo B (la herramienta de imagen más accesible y económica globalmente). El modelo transforma un examen convencional en una prueba de diagnóstico predictivo a través de herramientas de machine learning.

Llevar a cabo esta solución supone los siguientes impactos:

1. **Optimización del Triage Clínico:** El modelo permite identificar a los pacientes en el momento crítico de la enfermedad ($F \geq 2$), permitiendo al personal de atención primaria realizar un triage efectivo. Los pacientes clasificados con alto riesgo pueden ser derivados a intervenciones terapéuticas o a pruebas confirmatorias costosas (elastografía) solo cuando la probabilidad de fibrosis avanzada es alta.
2. **Reducción de Costos:** Al aprovechar la infraestructura de ultrasonido existente, se elimina la necesidad de inversión en nuevos equipos de elastografía. Esto democratiza el diagnóstico y disminuye el costo unitario por paciente evaluado.
3. **Impacto en Salud Pública:** Al facilitar la detección temprana en entornos comunitarios o de atención primaria, el modelo aumenta la ventana de oportunidad para la reversión o ralentización de la enfermedad, lo que tiene el potencial de reducir drásticamente las tasas de cirrosis, trasplante hepático y mortalidad asociada en la población general.

Ideación

Potenciales Usuarios:

El Sistema de Diagnóstico Asistido por Computadora está diseñado para beneficiar a los siguientes usuarios:

Usuario	Proceso Actual	Dolor Relacionado
---------	----------------	-------------------

Médico de Atención Primaria (MAP)	Realiza el screening inicial con factores de riesgo y scores séricos (FIB-4, APRI).	Ambigüedad y Sobre-derivación: Los scores séricos son a menudo inespecíficos (zona gris), lo que obliga a derivar innecesariamente a especialistas y sobrecarga el sistema.
Hepatólogo/Especialista	Evalúa pacientes de alto riesgo y programa pruebas especializadas (elastografía o biopsia).	Sobrecarga de Casos Innecesarios: Recibe una gran cantidad de referencias con resultados de scores indeterminados, lo que consume tiempo valioso y genera largas listas de espera para pruebas confirmatorias.
Radiólogo / Técnico de Ultrasonido	Realiza ecografías en modo B; la interpretación de la fibrosis temprana (F0 a F2) es subjetiva.	Subjetividad y baja sensibilidad: El ultrasonido convencional es ciego para los estadios tempranos de fibrosis. No puede emitir un diagnóstico de staging con la precisión requerida.
Administrador/Gerente de Salud	Gestiona los recursos (presupuesto, tiempo de equipos especializados).	Alto Costo Operacional: Gasto elevado en pruebas confirmatorias costosas (elastografía) para casos que podrían ser de bajo riesgo. Costos crecientes por morbilidad debido a diagnósticos tardíos.

Mockup

Predictor de Fibrosis por Ecografía (PFE)

ROI Analizada por IA

Imagen de Ecografía Hepática (Modo B)

5. RECOMENDACIÓN CLÍNICA (Triage Automatizado)

****ACCIÓN SUGERIDA:**** Derivación inmediata a Elastografía/Hepatología para confirmación.
Iniciar plan de control metabólico y seguimiento intensivo.

2. INPUTS CLÍNICOS

AST: 45 U/L
Plaquetas: 180 (x10⁹/L)
Edad/IMC: 55 años / 32

3. CLASIFICACIÓN PFE (SALIDA IA)

RIESGO ALTO (F≥2)

****Puntuación de Probabilidad:** **89%** de Fibrosis Sig.**

4. DETALLE ANALÍTICO (Interpretabilidad)

FIB-4 Calculado: 2.5 (Alto Riesgo)

****Factores de Influencia (IA):****

- Textura Hepática (Radiónica): 60%
- Scores Clínicos (FIB-4/APRI): 30%

Hipótesis que guiaran el proceso de desarrollo del producto

Inicialmente se establecieron las siguientes hipótesis con respecto a los datos que fueron recolectados:

- La edad del paciente influye en el estadio de la fibrosis que se le es diagnosticada
- La fibrosis hepática se presenta con mayor frecuencia en pacientes del sexo femenino

Pregunta de Investigación

¿Puede un modelo de inteligencia artificial identificar de manera temprana y precisa la fibrosis hepática significativa ($F \geq 2$) utilizando únicamente datos clínicos y ecografías convencionales?

Fuente y Descripción de Datos

El modelo recibirá como fuentes de datos, por un lado, un conjunto de imágenes de ecografía etiquetadas según el estadio de fibrosis diagnosticado, y por el otro, una serie de parámetros clínicos obtenidos en laboratorio, ambos provistos por el hospital Fundación Santafé de Bogotá. Las imágenes tienen el formato Tipo B, esto es, una imagen bidimensional con un único canal de escala de grises, y cuyas dimensiones son 800x600 (aún por verificar). Con respecto a los parámetros clínicos, éstos se describen a continuación con sus unidades de medidas y rangos normales:

- Recuento de Plaquetas: $150-400 \times 10^9/L$
- Aspartato Aminotransferasa (AST): 8-40 UI/L
- Alanina Aminotransferasa (ALT): 4-36 UI/L
- Edad: 0-90 años
- Gamma Glutamyltransferasa (GGT): 5-40 UI/L
- Deshidrogenasa Láctica (DHL): 100-360 UI/L
- Fosfatasa Alcalina: 40-150 UI/L
- Tiempo de Protrombina (PT): 0.8-1.2 INR
- Bilirrubina Total: 0.1-1.2 mg/dL
- Bilirrubina Directa: 0.1-0.4 mg/dL
- Nivel de fibrosis: valor de F0 a F4, esta es la **variable de salida**

A partir de los dos primeros valores, se puede calcular el indicador APRI; a partir de los cuatro primeros, el indicador FIB-4, y de la diferencia de los dos últimos, la bilirrubina indirecta. Además, todos los parámetros clínicos, con excepción de la edad y el nivel de fibrosis, han sido medidos varias veces para cada paciente, por lo que el valor final de cada parámetro asignado a cada uno corresponderá al promedio de todas las mediciones.

Análisis y Exploración de datos

Para la exploración de datos se adjuntan dos notebooks con el proceso de ingeniería de datos correspondiente asegurando su calidad e integridad, por lo que se insta al equipo docente a dirigirse a los notebooks para visualizar el contenido. En este documento se mencionan los insights principales abstraídos del análisis.

Insights principales del análisis

1. Distribución de la fibrosis:
Los estadios más frecuentes son F1 (35%) y F3–F4 (~25% cada uno), lo que

indica que la mayoría de los pacientes presentan fibrosis leve o avanzada, con menor representación de casos intermedios (F2) y normales (F0).

2. Diagnósticos asociados:
Los diagnósticos más comunes en los estadios F0–F2 son *degeneración grasa del hígado*, mientras que en F3–F4 predominan *otras cirrosis del hígado*, reflejando una progresión clínica coherente con el avance de la enfermedad.
3. Fibrosis como diagnóstico principal:
F1 es el estadio más frecuente cuando la fibrosis aparece como diagnóstico principal (~36%), lo que sugiere que muchos pacientes son detectados en fases tempranas o bajo seguimiento preventivo.
4. Eventos clínicos y progresión:
Los pacientes en estadios F1, F3 y F4 concentran el mayor número de eventos clínicos, evidenciando que los casos con fibrosis leve o avanzada requieren más seguimiento o presentan mayor actividad médica.
5. Edad promedio y gravedad:
La edad promedio varía poco entre estadios (60–66 años), indicando que la progresión de la fibrosis no está fuertemente determinada por la edad sino por otros factores metabólicos o clínicos.
6. Sexo y prevalencia:
Las mujeres presentan una mayor frecuencia de fibrosis en casi todos los estadios, especialmente en F1 y F3, lo que podría deberse a una mayor detección o seguimiento en población femenina.
7. Diagnósticos múltiples:
Más del 40% de los pacientes tienen más de un diagnóstico registrado, siendo la degeneración grasa del hígado y la fibrosis hepática las condiciones que más coexisten, lo cual sugiere una relación estrecha entre hígado graso y desarrollo de fibrosis.
8. Edad y diagnóstico:
Los diagnósticos asociados a fibrosis avanzada y cirrosis aparecen en pacientes con edades promedio más altas (~65–70 años), mientras que aquellos relacionados con esteatosis y obesidad se concentran en pacientes más jóvenes.
9. Pacientes con mayor número de eventos:
Los tres pacientes con más eventos clínicos presentan fibrosis en estadios F1 y F3, lo que refuerza la idea de que estos niveles intermedios son los más monitoreados y con mayor carga de seguimiento hospitalario.
10. Implicación clínica general:
La evolución de los diagnósticos y la concentración de eventos sugieren que la detección temprana y el control de factores metabólicos son claves para evitar la progresión hacia fibrosis avanzada o cirrosis (F4).