



UNIVERSIDAD DE VALPARÍSO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**” Desarrollo y validación de un Framework DEMATEL-ANP
con OPEN DATA para la priorización transparente de
inversiones intrahospitalarias en Chile”**

Trabajo de Título para optar al Grado de Licenciado en
Ciencias de la Ingeniería y al Título de Ingeniero Civil
Industrial

Florencia Lefever Gálvez

Prof. Guía: Dr. Erik Schulze G.

Septiembre, 2025.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer profundamente a mis padres, Mauricio y Verónica, quienes han sido un apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida. Gracias a su esfuerzo pude acceder a la mejor educación posible y, más allá de lo material, me entregaron siempre su orgullo y amor incondicional. Esa certeza ha sido la fuerza que me sostuvo en los momentos más difíciles de este proceso.

A mi pareja, Gianfranco, gracias por darme ánimo y energía cada día. Me has enseñado que la vida no es fácil, pero también que somos capaces de encontrar nuestro camino y superar los desafíos que se nos presentan.

A mi hermana Consuelo, desde la distancia en España, por recordarme con su ejemplo que el camino fácil no siempre es el indicado, que la tolerancia y el esfuerzo traen recompensas, y que siempre es posible salir adelante.

A mis hermanos Sheila, Josefa, Catalina y Sebastián, por estar atentos a mí pese a la distancia y acompañarme en los buenos y malos momentos.

A mi profesor guía, Erik, por nunca soltar la batuta, por motivarme constantemente y no dejar que me rindiera en los momentos más difíciles. Gracias por creer en mí, su apoyo fue esencial para concretar este trabajo.

A mis amigos, por estar pendientes de mi tesis, apoyarme y también distraerme cuando la presión se hacía más intensa.

Finalmente, un agradecimiento especial a mis perritos, en particular a Kim, que me acompañó en silencio durante largas horas de escritura, recordándome que incluso en el rigor académico siempre hay espacio para el cariño y la compañía.

Resumen

La priorización de inversiones en sistemas de salud públicos carece de modelos formales que manejen simultáneamente la interdependencia de criterios y la incertidumbre de los datos. Para abordar esta brecha, este estudio diseña, implementa y valida un Framework híbrido de apoyo a la decisión. La contribución metodológica es doble: (1) utiliza el método DEMATEL-ANP (DANP) para estructurar el problema basado en relaciones causa-efecto, eliminando la subjetividad en la definición de la red de decisión, y (2) integra la Simulación de Monte Carlo para cuantificar y manejar la incertidumbre en las estimaciones de costos, tiempos e impactos de los proyectos.

El Framework se implementó siguiendo un protocolo de tres fases en un hospital público de alta complejidad en Chile. Se evaluaron cuatro carteras de inversión estratégicas: infraestructura, recursos humanos, equipamiento clínico y gestión de listas de espera. Los datos de entrada se obtuvieron de un panel de expertos y de fuentes de datos abiertos.

Los resultados identifican un claro orden de prioridad, posicionando la ‘Gestión de Listas de Espera’ (puntaje final: 0.313) como la alternativa más estratégica, seguida por ‘Recursos Humanos’ (0.237). Las inversiones tradicionales en ‘Equipamiento’ (0.226) y ‘Infraestructura’ (0.224) resultaron ser menos prioritarias. Crucialmente, el análisis de sensibilidad automatizado demostró que este ranking es altamente robusto, sin cambios en las dos primeras posiciones incluso bajo variaciones de $\pm 20\%$ en la influencia de criterios críticos como ‘Alineación Estratégica’.

Se concluye que el Framework propuesto ofrece un modelo transparente y replicable que permite a los gestores tomar decisiones estratégicas que están estructuralmente justificadas (vía DEMATEL) y cuya validez se sostiene frente a la incertidumbre del mundo real (vía Monte Carlo).

Palabras clave: decisiones multicriterio, DANP, salud pública, inversiones hospitalarias, datos abiertos, priorización, simulaciones Monte Carlo.

Abstract

Investment prioritization in public healthcare systems lacks formal models that simultaneously handle criteria interdependence and data uncertainty. To address this gap, this study designs, implements, and validates a hybrid decision-support framework. The methodological contribution is twofold: (1) it employs the DEMATEL-ANP (DANP) method to structure the problem based on cause-and-effect relationships, thus eliminating subjectivity in the definition of the decision network, and (2) it integrates Monte Carlo Simulation to quantify and manage the uncertainty inherent in project cost, time, and impact estimations.

The framework was implemented following a three-phase protocol at a tertiary public hospital in Chile. Four strategic investment portfolios were evaluated: infrastructure, human resources, clinical equipment, and waiting list management. Input data were obtained from an expert panel and open data sources.

The results identify a clear priority ranking, positioning ‘Waiting List Management’ (final score: 0.313) as the most strategic alternative, followed by ‘Human Resources’ (0.237). Traditional investments in ‘Equipment’ (0.226) and ‘Infrastructure’ (0.224) were found to be of lower priority. Crucially, an automated sensitivity analysis demonstrated that this ranking is highly robust, with the top two positions remaining unchanged even under $\pm 20\%$ variations in the influence of critical criteria, such as ‘Strategic Alignment’.

It is concluded that the proposed framework offers a transparent and replicable model that enables managers to make strategic decisions that are structurally justified (via DEMATEL) and whose validity holds against real-world uncertainty (via Monte Carlo).

Keywords: multicriteria decision making, DANP, public health, hospital investments, open data, prioritization, Monte Carlo simulations.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| 1. Introducción | 10 |
| 2. Marco Teórico | 13 |
| 2.1. Priorización de Inversiones en Organismos Públicos | 13 |
| 2.2 Fundamentos de MCDA (Métodos Multicriterio de Apoyo a la Decisión) | 17 |
| 2.3. Técnicas y Criterios Usados en la Priorización de Inversiones Hospitalarias | 25 |
| Aplicaciones Internacionales de MCDA en Hospitales | 25 |
| Aplicaciones Nacionales de MCDA en Hospitales | 27 |
| Soluciones internacionales vs realidad chilena | 29 |
| Criterios Recurrentes y sus interdependencias | 30 |
| 2.4. Uso de Datos Abiertos y Tecnologías en la Toma de Decisiones en Salud | 32 |
| Estadísticas oficiales en Chile para apoyar criterios MCDA | 32 |
| Transformación de datos abiertos en insumos para MCDA/ANP | 33 |
| Posibilidades y Limitaciones de su Uso para Estructurar Decisiones Reales | 34 |
| Revisión de Plataformas e Iniciativas en Gobiernos Abiertos | 34 |
| Potencial de las Herramientas Tecnológicas para la Implementación de Sistemas de Apoyo a la Decisión | 35 |
| 3. Formulación del Problema | 36 |
| 3.1 Descripción del Problema | 36 |
| 3.2 Solución propuesta | 37 |
| 3.3 Pregunta de Investigación | 37 |
| Hipótesis | 37 |
| 3.4 Objetivo General | 37 |
| Objetivos Específicos | 38 |
| 3.5 Justificación | 38 |
| 4. Diseño Metodológico | 40 |
| 4.1 Diseño Metodológico del Estudio | 40 |
| 4.2 Caracterización del Caso de Estudio y Alternativas de Inversión | 42 |
| Identificación de alternativas, criterios y subcriterios: | 43 |
| 4.3 Fase I: Recolección y Estimación de Datos. | 47 |
| Herramientas y Artefactos: | 48 |
| 4.4 Fase II: Implementación del Framework DANP: | 55 |
| 4.5 Fase III: Validación y Análisis de Sensibilidad Automatizado | 57 |

| | |
|---|----|
| 5. Resultados | 59 |
| 5.1 Resultado del Análisis Estructural DEMATEL | 59 |
| 5.2 Resultados de la Estimación Robusta de Datos (Monte Carlo) | 60 |
| 5.3 Ranking de Prioridad de las Carteras de Inversión (Resultados DANP) | 62 |
| 5.4 Resultados del Análisis de Sensibilidad | 63 |
| 6. Discusión | 67 |
| 6.1 Interpretación del Ranking de Prioridades | 67 |
| 6.2 Análisis de las Relaciones Causales y sus Implicancias para la Gestión | 68 |
| 6.3 Aportes del Framework, Contraste con la Literatura y Limitaciones | 69 |
| Aportes principales del Framework Híbrido propuesto | 69 |
| Contraste con la Literatura | 70 |
| Limitaciones del Estudio | 71 |
| 6.4 Implicancias para la Gestión Hospitalaria en Chile | 72 |
| 7. Conclusiones y Líneas Futuras | 74 |
| 7.1 Síntesis y Conclusiones Principales | 74 |
| 7.2 Logro de los Objetivos y Recomendaciones | 74 |
| 7.3. Líneas de Investigación Futura | 75 |
| 8. Bibliografía | 77 |
| 9. Anexos | 82 |
| Anexo 1: Código Python de simulación Monte Carlo | 82 |
| Anexo 2: Código Fuente del Modelo Híbrido DANP | 84 |
| Anexo 3: Código Fuente para el Análisis de Sensibilidad Automatizado | 87 |
| Anexo 4: Instrumento de Recolección de Datos (Encuesta DEMATEL) | 90 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla1: Tabla comparativa de métodos utilizados en priorizaciones públicas. | 16 |
| Tabla2: Tabla comparativa de los métodos MCDA evaluados. | 20 |
| Tabla3: Tabla comparativa de estudios aplicado de MCDM. | 28 |
| Tabla4: Tabla de indicadores relevantes para investigación de salud en Chile | 30 |
| Tabla5: Base de Datos utilizada para alimentar el Modelo DANP | 55 |
| Tabla6: Resultados de prominencia y relación causal de los criterios principales..... | 59 |
| Tabla7: Resultados obtenidos en la estimación de Monte Carlo..... | 61 |
| Tabla8: Pesos globales normalizados por cada Subcriterio | 62 |
| Tabla9: Ranking Final de priorización de las alternativas de inversión obtenidas del Modelo DANP | 63 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Diagrama de flujo del Protocolo de Investigación y las fases metodológicas | 41 |
| Figura 2: Mapa causal de los criterios principales según el método DEMATEL..... | 60 |
| Figura 3: Grafico de Análisis de Sensibilidad para el criterio 5 | 64 |
| Figura 4: Grafico de Análisis de Sensibilidad para el criterio 2 | 65 |
| Figura 5: Grafico de Análisis de Sensibilidad para el criterio 1..... | 66 |
| Figura 6: Grafico de barra para visualizar el Ranking Final de cada alternativa | 67 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|--|----|
| Ecuación 1: Normalización de la matriz de influencia directa..... | 22 |
| Ecuación 2: Cálculo de la matriz de relaciones totales | 22 |
| Ecuación 3: Cálculo de prominencia e influencia neta de cada criterio | 22 |
| Ecuación 4: Convergencia de la supermatriz ponderada | 23 |
| Ecuación 5: Construcción de la supermatriz ponderada en DANP | 25 |
| Ecuación 6: Matriz de relaciones totales | 56 |
| Ecuación 7: Medidas estructurales del análisis DEMATEL | 56 |
| Ecuación 8: Cálculo del puntaje final de cada alternativa | 57 |

1. Introducción

La gestión eficiente de recursos en el sector público constituye un desafío estructural, especialmente en áreas de alta sensibilidad social como la salud, donde las demandas superan constantemente las capacidades presupuestarias y operativas disponibles. En este contexto, la toma de decisiones respecto a inversiones hospitalarias se vuelve especialmente compleja, ya que involucra múltiples actores, criterios variados y altos niveles de presión social y política (Gongora-Salazar et al., 2023). A pesar de ello, en países como Chile, persiste una carencia de herramientas estructuradas, objetivas y transparentes que orienten de manera racional la asignación de recursos hospitalarios, lo que conlleva riesgos en términos de inequidad territorial, ineficiencia y desalineación con los objetivos estratégicos del sistema de salud (Espinoza et al., 2023).

Históricamente, las decisiones de inversión en infraestructura hospitalaria se han sustentado en enfoques tradicionales, como el análisis costo-beneficio (ACB) o el cálculo del valor actual neto (VAN), que, si bien permiten cuantificar retornos financieros o económicos directos, presentan limitaciones sustantivas para capturar dimensiones sociales, territoriales y éticas que resultan fundamentales en la toma de decisiones públicas (Culyer & Chalkidou, 2019; Reyes et al., 2018). Estudios aplicados en Croacia y Ecuador han evidenciado que el uso exclusivo de VAN o ACB subestima el valor de intervenciones sanitarias cuyo impacto se refleja en la equidad, cobertura o reducción de brechas en salud y aspectos críticos para los sistemas públicos (Juričić et al., 2020; Reyes et al., 2018).

La literatura internacional ha propuesto, en consecuencia, avanzar hacia métodos multicriterio de apoyo a la decisión (MCDA), los cuales permiten integrar criterios cuantitativos y cualitativos en problemas complejos, valorizando simultáneamente factores técnicos, sociales, económicos y estratégicos (Azhar et al., 2021; Gongora-Salazar et al., 2023). En países como Noruega o Brasil, la implementación de estos modelos ha permitido priorizar decisiones clínicas y de inversión, incorporando no solo indicadores económicos, sino también aspectos como continuidad del cuidado, impacto sanitario y satisfacción usuaria, fortaleciendo así la legitimidad y efectividad de las decisiones (Frazão et al., 2021; Islam et al., 2021).

Sin embargo, en Chile, persiste la ausencia de sistemas de priorización formalizados para inversiones hospitalarias basados en MCDA. Los estudios disponibles reportan el uso de modelos ad-hoc contruidos a partir de consensos entre expertos, sin metodologías replicables ni procesos sistemáticos que integren datos abiertos ni mecanismos de validación transparente (Silva-Aravena et al., 2022; Zamorano et al., 2023). Esta situación limita la trazabilidad de las decisiones, reduce su legitimidad técnica y dificulta la optimización del uso de recursos en un sistema altamente tensionado.

La creciente disponibilidad de datos abiertos en salud en Chile, a través de plataformas como el Departamento de Estadísticas e Información de Salud (DEIS), Hospital Digital o

FONASA, representa una oportunidad concreta para desarrollar modelos de priorización más robustos, participativos y técnicamente validados (DEIS, 2024; Gobierno de Chile, 2024; CNEP, 2023).

Indicadores como los tiempos de espera, la mortalidad en listas, la disponibilidad de especialistas o el acceso territorial, pueden transformarse en insumos clave para alimentar criterios en modelos de tipo Analytic Network Process (ANP), dotando al proceso de mayor objetividad y legitimidad. Junto con ello, el uso de tecnologías como Python, dashboards interactivos y modelos de simulación, permite estructurar sistemas de apoyo a la decisión dinámicos, capaces de integrar múltiples criterios y visualizar resultados en tiempo real (PLANEKS, 2023; GoodData, 2023), fortaleciendo así la respuesta institucional ante contextos cambiantes y demandas complejas.

A pesar del uso creciente de métodos multicriterio, una brecha crítica persiste en la literatura: la mayoría de las aplicaciones de ANP en salud definen las interdependencias entre criterios de manera subjetiva, lo que puede introducir sesgos y afectar la solidez de los resultados (Aragonés-Beltrán et al., 2023; Schulze-González et al., 2021). Asimismo, son escasos los estudios que incorporan de forma sistemática la incertidumbre de los datos de proyectos, pese a que la información hospitalaria disponible suele ser incompleta, heterogénea o incierta (Azhar et al., 2021; Rahardjo et al., 2023). Estas limitaciones metodológicas reducen la validez y replicabilidad de los modelos de priorización. Este trabajo aborda directamente dichas brechas mediante la integración de DEMATEL, para estructurar objetivamente las interdependencias entre criterios, y la simulación Monte Carlo, para robustecer la estimación de variables críticas bajo condiciones de incertidumbre.

En este escenario, resulta pertinente complementar el uso de ANP con herramientas que permitan estructurar de manera más objetiva las interdependencias entre criterios. Uno de los métodos más utilizados para este propósito es DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory), el cual permite identificar relaciones de causa y efecto entre factores de decisión mediante el análisis de matrices de influencia directa. Su aplicación previa a ANP fortalece la construcción de la red de dependencias, reduciendo la subjetividad de los juicios y simplificando el proceso de comparación entre criterios (Aragonés-Beltrán et al., 2023; Schulze-González et al., 2021).

La integración de ambos enfoques, conocida como DANP (DEMATEL-ANP), ha demostrado ventajas significativas en estudios aplicados en sectores como la salud, la sostenibilidad y la gestión pública, al combinar la capacidad explicativa de DEMATEL con la robustez analítica de ANP para la obtención de prioridades globales (Rahardjo et al., 2023). Esta sinergia metodológica permite capturar no solo la intensidad de las relaciones entre criterios, sino también su direccionalidad, fortaleciendo la transparencia y la legitimidad del modelo de priorización.

En consecuencia, la presente investigación no se limita a aplicar un método a un caso de estudio, sino que propone un Framework metodológico innovador que responde a dos debilidades recurrentes en la literatura: (i) la definición subjetiva de interdependencias entre criterios en modelos ANP, y (ii) la falta de integración de técnicas de manejo de incertidumbre en datos de proyectos hospitalarios. Esta propuesta se orienta a resolver un problema específico de priorización de inversiones hospitalarias en Chile, que será detallado en el Capítulo 3, ofreciendo un modelo más objetivo, trazable y alineado con principios de racionalidad y equidad.

2. Marco Teórico

2.1. Priorización de Inversiones en Organismos Públicos

La planificación y asignación de recursos en el sector público constituye un proceso estratégico esencial para el desarrollo social y económico. A diferencia del ámbito privado, donde el criterio de rentabilidad es predominante, en el sector público las decisiones de inversión deben considerar múltiples dimensiones, incluyendo impactos sociales, territoriales, ambientales y políticos (Gongora-Salazar et al., 2023).

La planificación de inversiones públicas implica etapas como la identificación de necesidades, formulación de proyectos, evaluación técnico-económica, priorización, ejecución y seguimiento. Dentro de este ciclo, el momento de la priorización es crítico, ya que determina qué proyectos se ejecutarán cuando los recursos disponibles no permiten cubrir toda la demanda existente (Juričić et al., 2020; Kuwajima et al., 2020).

Este proceso debería regirse por cuatro principios fundamentales como la eficiencia, entendida como la maximización del impacto por unidad de recurso; la equidad, que implica una distribución justa entre territorios, sectores o grupos poblacionales; la transparencia, que exige procesos abiertos, trazables y sujetos a escrutinio público; y la sostenibilidad, que considera los impactos de largo plazo en las dimensiones económica, social y ambiental. Sin embargo, en la práctica, estos principios no siempre se cumplen, especialmente en contextos marcados por restricciones presupuestarias, alta complejidad técnica y presiones políticas (Culyer & Chalkidou, 2019)

Históricamente, la priorización de inversiones en organismos públicos se ha sustentado en enfoques tradicionales como el análisis costo-beneficio (ACB), el cálculo del valor actual neto (VAN), el costo-efectividad (ACE) o, en algunos casos, en decisiones políticas discrecionales. Estas metodologías, aunque ampliamente utilizadas, presentan limitaciones significativas cuando se aplican a contextos complejos y multidimensionales, como los que caracterizan a los bienes públicos. El ACB, por ejemplo, tiende a subestimar el valor de proyectos con alto impacto social, pero con retornos económicos directos reducidos o difíciles de cuantificar, como ocurre frecuentemente en intervenciones en salud, educación o saneamiento (Reyes et al., 2018).

Por su parte, el VAN privilegia inversiones con flujos de caja inmediatos, lo que puede excluir propuestas con beneficios a largo plazo o externalidades positivas sin potencial de generar ingresos. Además, en muchos sistemas públicos, las decisiones terminan siendo determinadas por criterios políticos o administrativos, que pueden estar condicionados por ciclos electorales, presiones territoriales o decisiones discrecionales que no siempre responden a criterios de eficiencia o equidad (Juričić et al., 2020).

En un estudio aplicado a la renovación del alumbrado público en Croacia, (Juričić et al., 2020) compararon alternativas de financiamiento público utilizando tanto indicadores financieros tradicionales como métodos multicriterio, concluyendo que el uso exclusivo de VAN resultaba insuficiente para capturar criterios como la eficiencia energética o el riesgo operativo. De manera similar, (Reyes et al., 2018) evaluaron en las Islas Galápagos opciones para mitigar la escasez hídrica. Aunque el ACB fue considerado, su limitada capacidad para integrar factores sociales, técnicos y ambientales motivó la adopción de métodos multicriterio que permitieran una evaluación más integral.

En el ámbito de la salud, una metodología ampliamente usada ha sido el análisis de ACE, que evalúa la relación entre los costos de una intervención y sus efectos sanitarios, usualmente medidos en años de vida ajustados por calidad. Aunque el ACE es útil para comparar tratamientos con beneficios clínicos comprobables, su enfoque técnico puede resultar limitado al no integrar otras dimensiones relevantes en la toma de decisiones públicas, como la equidad, la aceptabilidad social o la viabilidad operativa (Wilson et al., 2022).

En un estudio comparativo entre MCDA y ACE, (Wilson et al., 2022) muestran cómo el ACE tiende a concentrarse en la eficiencia técnica, mientras que los métodos multicriterio permiten incorporar una gama más amplia de valores públicos, siendo más adecuados para contextos donde las decisiones deben reflejar múltiples objetivos y restricciones no monetarias.

Diversos estudios han planteado la necesidad de avanzar hacia métodos más estructurados, participativos y multicriterio para apoyar la toma de decisiones en la inversión pública. En este sentido, el trabajo de (Maniatopoulos et al., 2021) evalúa la implementación del Public Health England's Prioritization Framework (PF), una herramienta desarrollada para apoyar decisiones de inversión y desinversión en salud pública en autoridades locales del Reino Unido. Los resultados destacan que este tipo de marcos promueven una mayor transparencia, mejoran la colaboración intersectorial y fortalecen la legitimidad de las decisiones. No obstante, también se advierte que su adopción requiere liderazgo político y compromiso organizacional.

En la misma línea, (Soliman Mohammed, 2023) presenta un caso aplicado en Egipto, en el que se utiliza el método Analytic Hierarchy Process (AHP) para asignar prioridades a nivel regional en la inversión pública. Su estudio demuestra cómo el AHP permite incorporar criterios sociales, territoriales y técnicos en una estructura jerárquica clara, asignando pesos a cada uno en función de su relevancia. Además, propone una mejora metodológica mediante el uso de técnicas estadísticas para fortalecer la validez y robustez de los resultados, enfrentando una de las críticas comunes al AHP tradicional: su sensibilidad a juicios subjetivos.

Un enfoque similar fue utilizado por (Shim & Kim, 2023) en Corea del Sur, donde se aplicó AHP para priorizar proyectos de inversión local en 14 áreas clave, como bienestar social, salud y medioambiente. Además de establecer prioridades, el estudio incorporó análisis de eficiencia y productividad a través del método DEA (Data Envelopment Analysis) y el índice de productividad Malmquist.

El DEA es una técnica no paramétrica utilizada para evaluar la eficiencia relativa de unidades de decisión homogéneas, considerando múltiples entradas (recursos utilizados) y salidas (resultados obtenidos). Permite identificar qué unidades operan en la “frontera de eficiencia” y cuáles presentan ineficiencias técnicas que podrían corregirse (Emrouznejad & Yang, 2018). Por su parte, el índice Malmquist mide los cambios en la productividad de una unidad entre dos periodos de tiempo, descomponiéndolos en cambios de eficiencia técnica (mejoras operativas) y cambios tecnológicos (innovaciones en el uso de recursos).

Este enfoque permitió no solo orientar las decisiones de inversión, sino también evaluar el desempeño operativo de los proyectos en 17 regiones, identificando brechas y oportunidades de mejora. Esta experiencia destaca el valor de integrar metodologías de evaluación continua y evidencia empírica para optimizar el ciclo completo de la inversión pública.

Asimismo, (Oyatoye et al., 2023) desarrollan un modelo de decisión multicriterio con enfoque difuso para priorizar inversiones en proyectos viales en Lagos, Nigeria. El modelo integra Delphi, AHP y TOPSIS, y demuestra cómo este tipo de herramientas permite enfrentar la complejidad técnica y política de las decisiones públicas en entornos urbanos altamente demandantes. Además, subraya cómo el uso de métodos sistemáticos puede contrarrestar la subjetividad y aumentar la legitimidad de las decisiones frente a la ciudadanía.

En la Tabla 1 se puede evidenciar que los enfoques tradicionales presentan muchas limitaciones relacionadas en su mayoría con criterios sociales y cualitativos, por lo que resultan insuficientes para enfrentar decisiones de inversión en contextos de alta complejidad, como los que caracterizan al sector salud o infraestructura pública. La incorporación de métodos multicriterio ofrece una alternativa que permite integrar múltiples objetivos de política pública, considerar aspectos no monetarios y fortalecer la transparencia y racionalidad del proceso de priorización. Esto no quiere decir que los métodos tradicionales no funcionen, pero es importante integrar nuevas herramientas para no dejar de analizar criterios no monetarios, pero si importantes en el ámbito público.

| Método | Descripción | Ventajas | Limitaciones | Referencias |
|----------------------------------|--|--|---|--|
| Valor Actual Neto (VAN) | Calcula la diferencia entre ingresos y egresos descontados a valor presente. Prioriza proyectos con mayor retorno financiero. | Simple, es objetivo para obtener beneficios monetarios. | No considera beneficios sociales o intangibles (cualitativos). | (Juričić et al., 2020; Reyes et al., 2018) |
| Análisis Costo-Beneficio (ABC) | Compara beneficios y costos, expresados monetariamente, para evaluar la rentabilidad social y económica de un proyecto. | Permite evaluar rentabilidad social de inversiones públicas. | Dificultad de valorar monetariamente beneficios sociales, ambientales o éticos. | (Culyer & Chalkidou, 2019; Reyes et al., 2018) |
| Análisis Costo-Efectividad (ACE) | Evalúa la relación entre costos y efectos sanitarios (por ejemplo, años de vida ajustados por calidad). | Útil para comparar intervenciones clínicas similares; favorece decisiones costo-eficientes en salud. | No considera aspectos como equidad, viabilidad operativa o valores sociales no monetarios. | (Wilson et al., 2022) |
| Inteligencia Artificial (IA) | Uso de algoritmos para predecir y priorizar inversiones según variables históricas y tendencias. | Procesa grandes volúmenes de datos, identifica patrones ocultos. | Requiere datos de alta calidad y puede carecer de criterios éticos o sociales explícitos. | (Ramezani et al., 2023) |
| Análisis Multicriterio (MCDA) | Integra criterios cuantitativos y cualitativos, jerarquizando alternativas en función de criterios técnicos, sociales, estratégicos, ambientales, etc. | Considera integralmente variables técnicas y sociales; transparencia y replicabilidad. | Requiere mayor tiempo, validación experta y gestión metodológica. | (Azhar et al., 2021; Cinelli et al., 2022; Gongora-Salazar et al., 2023) |
| Data Envelopment Analysis (DEA) | Mide eficiencia relativa de unidades de decisión considerando múltiples entradas y salidas. | Permite comparar eficiencia técnica relativa. | No prioriza directamente, sino mide eficiencia; no incorpora juicios sociales o estratégicos. | (Emrouznejad & Yang, 2018; Shim & Kim, 2023) |

Tabla1: Tabla comparativa de métodos utilizados en priorizaciones públicas. **Fuente:** Creación propia

2.2 Fundamentos de MCDA (Métodos Multicriterio de Apoyo a la Decisión)

La toma de decisiones en contextos públicos complejos, como la asignación de recursos para inversiones en salud o infraestructura, requiere considerar simultáneamente múltiples criterios, actores y objetivos. Frente a esta complejidad, los métodos multicriterio de apoyo a la decisión MCDA, han emergido como una alternativa eficaz a los enfoques tradicionales, permitiendo estructurar problemas, comparar opciones bajo múltiples dimensiones y obtener resultados más justificados, transparentes y coherentes (Khanal et al., 2024).

Los métodos MCDA se fundamentan en principios como la descomposición jerárquica del problema, la evaluación comparativa entre alternativas, la incorporación de preferencias de los tomadores de decisiones y la agregación de resultados (Russo & Camanho, 2015; Sahoo & Shubhra Goswami, 2023). Esto permite integrar tanto información cuantitativa como cualitativa, incorporando aspectos económicos, sociales, técnicos y ambientales en un marco sistemático, generando una toma de decisiones más racional (Azhar et al., 2021).

Tal como señalan (Gongora-Salazar et al., 2023), su aplicación en el ámbito sanitario ha permitido evaluar no solo eficacia clínica, sino también impacto social, equidad, aceptabilidad y sostenibilidad, aspectos muchas veces ausentes en enfoques como el análisis ACE.

Existen diversos métodos dentro del MCDA, los cuales se pueden categorizar dependiendo de su enfoque, en primer lugar, se encuentra la comparación por pares, la cual se compone de distintas fases: la definición del problema, la identificación de criterios y alternativas, la asignación de pesos a los criterios, la evaluación de alternativas y la síntesis de resultados para apoyar la decisión (Sahoo & Shubhra Goswami, 2023). Este enfoque permite una alta flexibilidad metodológica y es ampliamente utilizado por su capacidad de incorporar juicios expertos. Entre los métodos más destacados se encuentra el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) y el Proceso Analítico en Redes (ANP), los cuales permiten modelar relaciones jerárquicas o interdependientes entre los criterios y alternativas (Azhar et al., 2021).

En segundo lugar, se encuentran los métodos de Outranking, que se centran en comparar alternativas en función a su dominancia relativa en distintos criterios, sin necesidad de agregar todos los valores en una sola medida. En esta categoría se destacan el método ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Réalité) y el método PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations), los cuales son útiles en contextos donde las alternativas no pueden ser ordenadas de forma estricta o donde existen compensaciones limitadas entre criterios (Azhar et al., 2021).

Por último, está el enfoque basado en distancia, el cual parte de la identificación de una solución ideal (que maximiza o minimiza todos los criterios deseados) y mide la distancia de

cada alternativa respecto a este punto. Las alternativas más cercanas al ideal se consideran óptimas. Dentro de esta familia se destacan los métodos TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) y VIKOR (VIseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje), que han sido aplicados con éxito en múltiples contextos de priorización y evaluación multicriterio (Azhar et al., 2021).

Uno de los métodos más utilizados en el ámbito público es el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP), desarrollado por Saaty. Este método permite descomponer un problema complejo en una jerarquía de criterios y subcriterios, los cuales son ponderados a través de comparaciones pareadas realizadas por expertos o actores involucrados. A pesar de su popularidad, estudios recientes han señalado que su validez depende en gran medida de la consistencia en los juicios y del número de comparaciones requeridas, lo que puede generar sesgos o carga cognitiva elevada en ciertos contextos (Lukinskiy et al., 2021). Por otro lado, el Proceso de Red Analítica (ANP), una extensión del AHP, permite modelar relaciones de interdependencia entre criterios, siendo especialmente útil en contextos donde existe retroalimentación entre factores (Khan et al., 2020).

A nivel aplicado, la literatura reciente muestra una expansión de los enfoques MCDA en el sector público. Por ejemplo, (Juričić et al., 2020) aplicaron un modelo multicriterio para priorizar proyectos de renovación de alumbrado público en Croacia, integrando criterios técnicos, económicos y ambientales. En Brasil (Ku wajima et al., 2020) propusieron un modelo de priorización de inversiones en saneamiento básico a nivel nacional, incorporando criterios como cobertura poblacional, riesgos sanitarios y viabilidad técnica. En Egipto, (Elghazouly et al., 2024) integraron MCDA con sistemas de información geográfica (GIS) para priorizar intervenciones en asentamientos urbanos, demostrando cómo estos métodos pueden adaptarse a diferentes escalas y realidades.

A nivel de salud pública (Gongora-Salazar et al., 2023) identificaron un uso creciente de MCDA en procesos de evaluación de tecnologías sanitarias, selección de intervenciones prioritarias y diseño de políticas de cobertura universal. En este tipo de aplicaciones, los métodos multicriterio permiten capturar valores sociales como la equidad o la severidad de la enfermedad, aspectos que son difícilmente considerados en métodos puramente económicos.

Adicionalmente, otros estudios han demostrado el valor práctico de los métodos MCDA en diversas áreas del sistema de salud. Por ejemplo, (Yang et al., 2021) utilizaron MCDA junto con evaluaciones tecnológicas para mejorar la toma de decisiones en las adquisiciones médicas hospitalarias, demostrando cómo estos enfoques permiten integrar múltiples dimensiones como costo, efectividad clínica y adecuación técnica. (Akhrouf & Derghoum, 2023) aplicaron el AHP para seleccionar proyectos de infraestructura sanitaria, resaltando

cómo este método puede incorporar criterios estratégicos y técnicos en contextos con alta incertidumbre presupuestaria.

En Brasil, (Frazão et al., 2021) implementaron un modelo MCDA para mejorar la priorización en servicios de emergencia médica, integrando criterios de urgencia, riesgo y logística en un proceso transparente y replicable. De forma similar, (Islam et al., 2021) evaluaron mediante MCDA un plan de atención integrada para adultos mayores en Noruega, permitiendo ponderar factores clínicos, sociales y organizativos desde la perspectiva de los distintos actores involucrados.

Además, (Rana et al., 2023) utilizaron un enfoque basado en Fuzzy-TOPSIS para priorizar pacientes en listas de espera para cirugías electivas, aportando una solución innovadora que considera simultáneamente la gravedad clínica, el tiempo de espera y otros criterios relevantes. Finalmente, (Chakraborty et al., 2023) en su revisión sistemática, documentaron una creciente aplicación de métodos MCDA en la evaluación de políticas, programas y tecnologías de salud a nivel internacional, destacando su utilidad para capturar valores sociales y mejorar la legitimidad de las decisiones en sistemas sanitarios complejos.

En la Tabla 2, se evidencia una importante diversidad en cuanto a enfoques, capacidades analíticas y niveles de complejidad. El AHP destaca por su facilidad de comprensión, aplicación estructurada y capacidad para verificar la consistencia de los juicios expertos (Azhar et al., 2021). Su formato jerárquico permite modelar problemas con criterios bien diferenciados, siendo ampliamente utilizado en sectores públicos por su claridad metodológica (Shim & Kim, 2023). Sin embargo, su incapacidad para representar relaciones de dependencia entre los elementos limita su aplicabilidad en problemas complejos, lo que se traduce en una carga cognitiva elevada en estructuras con muchos niveles o criterios (Lukinskiy et al., 2021).

El ANP, por su parte, se presenta como una evolución del AHP al permitir modelar interdependencias y retroalimentaciones entre criterios y alternativas. Esta característica lo convierte en una herramienta adecuada para contextos como la salud pública o la infraestructura nacional, donde los factores no actúan de manera aislada (Khan et al., 2020; Ortíz et al., 2015). No obstante, su implementación es más exigente, tanto en términos de formulación como de validación, lo que puede representar una barrera para su adopción en contextos institucionales con capacidades técnicas limitadas (Russo & Camanho, 2015).

| Método | Ventajas | Limitaciones | Aplicabilidad | Sensibilidad | Tipo de escala | Casos de Estudio |
|------------------|--|---|--|--|---|---|
| AHP | Fácil de entender y aplicar. Permite verificar consistencia de juicios. Estructura problemas jerárquicos de forma clara. | No considera relaciones de dependencia entre criterios. Puede generar carga cognitiva elevada en problemas grandes. | Problemas con criterios independientes y estructura jerárquica clara. | Alta: pequeños cambios en juicios pueden alterar resultados si hay inconsistencia. | Escala de razón (1–9 de Saaty). | Renovación de alumbrado público (Juričić et al., 2020), proyectos viales (Oyatoye et al., 2023), inversiones locales en Corea (Shim & Kim, 2023), selección de infraestructura sanitaria en Argelia (Akhrouf & Derghoum, 2023). |
| ANP | Permite relaciones de dependencia y retroalimentación entre criterios y alternativas. Representa mejor problemas complejos y reales. | Más complejo de aplicar e interpretar. Mayor carga de trabajo en matrices de comparación. | Decisiones complejas con criterios interdependientes, como salud pública e infraestructura nacional. | Alta: debido a las múltiples relaciones entre elementos. | Escala de razón (1–9 de Saaty). | Selección de proyectos en Six Sigma en hospitales (Ortíz et al., 2015), priorización de inversiones públicas (Khan et al., 2020). |
| TOPSIS | Simple, ordena alternativas según cercanía a la solución ideal. Buen manejo de grandes cantidades de datos. | No considera relaciones entre criterios. Depende de la correcta normalización de datos. | Problemas con muchas alternativas y criterios cuantitativos. | Moderada: sensible a la normalización y al método de ponderación. | Escala cardinal (valores normalizados). | Selección de proyectos viales (Oyatoye et al., 2023), priorización de servicios de salud (Azhar et al., 2021) priorización de pacientes en lista de espera (Rana et al., 2023). |
| ELECTRE | Maneja bien relaciones de dominancia y compensaciones limitadas. Útil para decisiones discretas con conflictos. | Difícil interpretación para tomadores no técnicos. Parametrización subjetiva. | Problemas donde no se busca un ordena único, sino identificar dominancias parciales. | Alta: depende fuertemente de umbrales y pesos definidos. | Escala ordinal y de preferencia. | Desarrollo de un plan estratégico de instalaciones sostenibles para el diseño de un hospital (K.e.k et al., 2021). |
| PROMETHEE | Visualización intuitiva de preferencias, gestiona bien compensaciones limitadas. | Requiere definir funciones de preferencia específicas por criterio. | Problemas con criterios de difícil incorporación. | Alta: sensible a la forma de la función de preferencia. | Escala ordinal o cardinal según implementación. | Aplicación en hospitales públicos en Polonia (Miszczyńska, 2020). |
| VIKOR | Considera la solución ideal y de compromiso. Útil en contextos de negociación. | Depende de la correcta ponderación de criterios y de la sensibilidad de los parámetros. | Problemas con soluciones de compromiso entre actores con prioridades divergentes. | Alta: sensible a los coeficientes de compromiso. | Escala cardinal (valores normalizados). | Aplicación para disminuir desastres en hospitales (Ortiz-Barrios et al., 2022). |
| MACBETH | No requiere asignar valores numéricos, trabaja con juicios cualitativos. Favorece procesos participativos. | Requiere expertos capacitados para entender la lógica de categorías atractivas. | Procesos participativos de priorización en salud y sociales. | Moderada: más estable gracias a intervalos cualitativos. | Escala cualitativa convertida en intervalos cardinales. | Mejoras de políticas de mantenimiento en organizaciones sanitarias (Carnero & Gómez, 2016). |

Tabla2: Tabla comparativa de los métodos MCDA evaluados. **Fuente:** Creación propia

Los métodos basados en distancia, como TOPSIS y VIKOR, ofrecen ventajas importantes en cuanto a capacidad de procesamiento de grandes volúmenes de datos y eficiencia computacional. TOPSIS, desarrollado por Hwang y Yoon en 1981, se basa en la cercanía de las alternativas a una solución ideal, mientras que VIKOR introduce un enfoque de solución de compromiso útil en escenarios con conflictos de interés entre los actores. Ambos métodos, sin embargo, presentan limitaciones al no considerar interacciones entre criterios, y su aplicabilidad depende de una correcta normalización y ponderación de los datos (Azhar et al., 2021).

En el caso de los métodos ELECTRE y PROMETHEE, su principal fortaleza radica en la capacidad de manejar decisiones discretas con conflictos entre criterios y compensaciones limitadas. Estos enfoques son adecuados cuando no se busca un ordenamiento estricto de las alternativas, sino más bien identificar relaciones de dominancia parcial. Sin embargo, su implementación técnica suele ser más compleja, y su interpretación puede resultar menos intuitiva para los tomadores de decisiones no especializados (Miszczyńska, 2020).

Finalmente, el método MACBETH ofrece un enfoque cualitativo que facilita procesos participativos, ya que no requiere asignar valores numéricos, sino que se basa en juicios de atracción entre las opciones. Esto lo convierte en una herramienta valiosa para decisiones en el ámbito social o sanitario, donde los actores pueden expresar sus valoraciones en términos lingüísticos o categóricos.

El análisis permite concluir que no existe un método superior de forma universal, sino que la elección debe responder a la naturaleza del problema, la disponibilidad de datos, la necesidad de participación, y el grado de sofisticación técnica requerido. Asimismo, se destaca la importancia de realizar análisis de sensibilidad y validar los resultados mediante procesos expertos o participativos, con el fin de asegurar que la herramienta empleada no solo sea técnicamente robusta, sino también legítima y comprensible para los actores involucrados (Cinelli et al., 2022; Khanal et al., 2024).

En escenarios donde los criterios de decisión presentan múltiples interrelaciones, y donde la determinación precisa de esas relaciones resulta compleja, existen herramientas que permiten fortalecer el modelado estructural de los métodos MCDA. Una de las más reconocidas es el método DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory), el cual no se aplica como técnica independiente de priorización, sino como herramienta complementaria para explorar y representar relaciones causales entre criterios o factores de decisión. Su objetivo es identificar la influencia directa e indirecta entre elementos del sistema, distinguiendo entre criterios que actúan como causa y aquellos que operan como efecto (Ortíz et al., 2015; Schulze-González et al., 2021).

DEMATEL se basa en el análisis de matrices de influencia obtenidas por expertos, permitiendo representar las relaciones mediante mapas causales. Esta técnica se ha utilizado para estructurar redes de decisión más objetivas y fundamentadas, especialmente en entornos complejos como la planificación pública, la gestión hospitalaria y la ingeniería industrial. Su principal valor reside en que reduce la subjetividad asociada a los juicios de expertos, al cuantificar las influencias percibidas entre los criterios, mejorando así la precisión de modelos más amplios como ANP (Aragonés-Beltrán et al., 2023).

El procedimiento de DEMATEL se fundamenta en una serie de pasos matemáticos. Primero, los expertos asignan valores de influencia en una escala discreta (por ejemplo, 0 a 4) para construir la matriz inicial $A=[a_{ij}]$. Esta se normaliza aplicando un factor de ajuste z :

$$Z = \min \left\{ \frac{1}{\max_i \sum_{j=1}^n a_{ij}}, \frac{1}{\max_j \sum_{i=1}^n a_{ij}} \right\}, \quad X=zA$$

Ecuación 1: Normalización de la matriz de influencia directa

Donde X corresponde a la matriz de influencia directa normalizada. A partir de ella se obtiene la matriz de influencia total T , que recoge tanto los efectos directos como los indirectos entre los criterios:

$$T = X (I - X)^{-1} = X + X^2 + X^3 + \dots$$

Ecuación 2: Cálculo de la matriz de relaciones totales

La matriz T permite calcular, para cada criterio i , el impacto ejercido (r_i) y el impacto recibido (s_i):

$$r_i = \sum_{j=1}^n t_{ij}, \quad s_i = \sum_{i=1}^n t_{ij}$$

Ecuación 3: Cálculo de prominencia e influencia neta de cada criterio

A partir de estos se derivan dos indicadores clave: la centralidad ($r_i + s_i$), que refleja la importancia del criterio en la red, y la causalidad ($r_i - s_i$), que distingue entre factores causales (positivos) y de efecto (negativos). El resultado puede representarse gráficamente en un mapa relacional de influencias (INRM), que sintetiza la estructura causal del sistema.

Diversos estudios han demostrado la utilidad de DEMATEL como herramienta de apoyo para el diseño de sistemas de priorización multicriterio, particularmente cuando se integra con otros métodos. Por ejemplo, (Ortíz et al., 2015) aplican DEMATEL como etapa previa a ANP con el objetivo de identificar las relaciones de causa-efecto entre los criterios y subcriterios involucrados en la evaluación de los proyectos. A través del uso de matrices de

influencia directa, DEMATEL permitió establecer una estructura de red fundamentada en evidencia empírica, en lugar de depender únicamente del juicio subjetivo de los expertos.

A su vez, (Schulze-González et al., 2021) proponen y validan una metodología híbrida en la que DEMATEL se utiliza para simplificar la construcción de redes en ANP, reduciendo la carga cognitiva de los expertos, minimizando inconsistencias en los juicios y fortaleciendo la calidad estructural del modelo. Su enfoque demuestra que esta combinación, conocida como DANP (DEMATEL + ANP), es especialmente útil cuando se deben modelar relaciones complejas entre numerosos criterios y subcriterios, como es el caso de las inversiones hospitalarias.

En el marco de este estudio, se opta por utilizar el **Proceso Analítico de Redes (ANP)** como método base para el modelo de priorización de inversiones hospitalarias. Esta elección se fundamenta, en primer lugar, en la naturaleza compleja e interdependiente del problema de decisión, donde los criterios y subcriterios no se comportan de manera jerárquica estricta, sino que presentan relaciones de influencia mutua y retroalimentación. Esta capacidad de modelar redes complejas ha sido ampliamente documentada en la literatura, como en la revisión de (Taherdoost & Madanchian, 2023), quien sistematiza las principales ventajas del ANP frente a métodos jerárquicos y destaca su aplicabilidad en sectores públicos, tecnológicos y de salud.

Factores como impacto sanitario, urgencia, factibilidad técnica y cobertura poblacional se afectan entre sí, generando una dinámica decisional que no puede ser representada adecuadamente mediante estructuras jerárquicas tradicionales como las del AHP (Khan et al., 2020).

El ANP permite capturar esta complejidad mediante comparaciones pareadas entre elementos, las cuales se organizan considerando tanto las dependencias internas dentro de cada clúster como las relaciones externas entre clústeres distintos. A partir de estas comparaciones se construye una matriz de juicios $P = [p_{ij}]$, de la cual se derivan los pesos relativos de cada criterio, calculados ya sea a través del vector propio principal o mediante el promedio geométrico. Estos pesos se integran en la supermatriz no ponderada W , que representa todas las influencias identificadas en la red de clusters. Posteriormente, la supermatriz se normaliza para obtener la supermatriz ponderada W^α y, finalmente, se eleva sucesivamente hasta alcanzar la supermatriz límite:

$$W^\infty = \lim_{k \rightarrow \infty} (W^\alpha)^k$$

Ecuación 4: Convergencia de la supermatriz ponderada

La supermatriz límite refleja la importancia global de cada criterio y alternativa dentro del sistema, entregando como resultado las prioridades finales que consideran explícitamente las interdependencias entre los clusters (Saaty & Vargas, 2013).

A nivel aplicado, el modelo ha sido probado en sectores donde las decisiones requieren integrar múltiples dimensiones no monetarias, tal como en salud. Por ejemplo (Ortíz et al., 2015), utilizaron ANP para seleccionar proyectos de mejora en hospitales, destacando su utilidad para incorporar relaciones cruzadas entre criterios técnicos, financieros y estratégicos. De igual forma, (Khan et al., 2020), señalan que ANP ha sido clave en políticas públicas donde se requiere considerar múltiples actores e impactos no lineales, como en educación, infraestructura y cobertura sanitaria.

Así mismo, (Marcarelli, 2017) aplicó ANP para seleccionar tecnologías sanitarias en un hospital universitario de Italia, integrando criterios médicos, organizacionales y económicos, y demostrando cómo este enfoque permitió visibilizar relaciones de dependencia entre eficacia clínica, disponibilidad de recursos y prioridades institucionales.

Una ventaja adicional del ANP en el contexto de esta investigación es su compatibilidad con enfoques basados en datos abiertos (open data). La estructura de red del ANP permite incorporar variables cuantitativas derivadas de bases públicas como presupuestos regionales, indicadores de salud, tasas de cobertura o tiempos de espera, integrándolas con juicios cualitativos de expertos mediante escalas comparativas. Este enfoque híbrido fortalece la trazabilidad de las decisiones, mejora la auditoría social del proceso y promueve una mayor transparencia institucional (Cinelli et al., 2022). En entornos donde existe presión por decisiones más objetivas y públicas, la sinergia entre ANP y datos abiertos resulta especialmente valiosa.

No obstante, dada la complejidad del sistema de criterios y subcriterios, así como las limitaciones inherentes al uso exclusivo de juicio experto para definir las relaciones de dependencia entre ellos, esta investigación incorpora además la técnica DEMATEL como herramienta previa al ANP. DEMATEL permite representar relaciones de causa-efecto entre criterios a partir del análisis de matrices de influencia directa, facilitando la construcción de una red estructural más objetiva y reduciendo la carga cognitiva de los expertos al momento de realizar comparaciones (Aragonés-Beltrán et al., 2023; Schulze-González et al., 2021).

Finalmente, la integración de ambos métodos se materializa en el enfoque DANP (DEMATEL + ANP), cuyo procedimiento consiste en normalizar la matriz de influencia total de DEMATEL T y reorganizarla para formar directamente la supermatriz de ANP. Posteriormente, mediante el mismo proceso de ponderación y cálculo de la supermatriz límite, se obtienen los pesos globales del sistema:

$$W = (T_c^\alpha)^T, \quad W^\alpha = T_D^\alpha W, \quad \lim_{g \rightarrow \infty} (W^\alpha)^g$$

Ecuación 5: Construcción de la supermatriz ponderada en DANP

De esta forma, DANP combina la robustez analítica del ANP para calcular prioridades globales en sistemas complejos con retroalimentación, con la capacidad de DEMATEL para identificar y estructurar relaciones de causa-efecto entre criterios. Esta sinergia metodológica reduce la carga cognitiva de los expertos al simplificar las comparaciones, minimiza inconsistencias en los juicios, y fortalece la objetividad en la definición de dependencias. Al diferenciar entre factores impulsores y receptores, el modelo adquiere mayor capacidad explicativa, lo que permite disminuir la incertidumbre asociada al juicio experto, aumentar la trazabilidad del proceso y reflejar de manera más realista la naturaleza interdependiente del problema (Rahardjo et al., 2023).

En consecuencia, el uso de DANP no solo mejora la calidad técnica del modelo de priorización, sino que también incrementa su legitimidad y transparencia, aspectos fundamentales para su eventual implementación en contextos públicos, en línea con principios de racionalidad, sostenibilidad y auditoría social.

2.3. Técnicas y Criterios Usados en la Priorización de Inversiones Hospitalarias

Aplicaciones Internacionales de MCDA en Hospitales

La toma de decisiones sobre inversiones en el sector hospitalario, especialmente en contextos de recursos limitados, exige herramientas que permitan balancear criterios múltiples de manera sistemática y transparente. En este sentido, los métodos de apoyo a la decisión multicriterio (MCDA) han cobrado creciente relevancia a nivel internacional y nacional, permitiendo integrar criterios técnicos, económicos, sociales y éticos en un solo marco analítico.

Diversos estudios internacionales han implementado MCDA para optimizar decisiones en hospitales, tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo. A continuación, se destacan cuatro estudios representativos que ilustran distintas experiencias y enfoques en esta línea:

En **Indonesia y Tailandia**, (Holtorf et al., 2021) desarrollaron un marco de MCDA adaptado a las decisiones de compra de equipamiento médico en hospitales públicos. El estudio subraya la necesidad de adaptar los criterios al contexto local, incorporando factores como sostenibilidad, calidad del proveedor, mantenimiento postventa y transparencia en la adquisición. La participación de actores del sistema de salud fue clave para aumentar la

legitimidad de las decisiones, y el modelo permitió estructurar un proceso antes dominado por criterios económicos unilaterales.

En **Brasil**, (Frazão et al., 2021) aplicaron un enfoque MCDA para priorizar recursos del servicio médico de emergencia móvil (SAMU). Utilizaron un modelo con ponderación experta para comparar alternativas de inversión que combinaban gravedad clínica, tiempos de respuesta, accesibilidad territorial y eficiencia en costos. Los resultados permitieron definir zonas prioritarias de atención y reorganizar los servicios para maximizar su impacto, demostrando la utilidad de MCDA para enfrentar demandas sanitarias críticas y dinámicas.

En **Irán**, (Mohamadi et al., 2016) emplearon el método AHP para apoyar decisiones de cobertura en intervenciones ortopédicas, en el marco del programa nacional de reforma sanitaria. El estudio incorporó criterios clínicos (efectividad, urgencia), económicos (costos, retorno sanitario) y sociales (aceptabilidad pública, equidad), generando un ranking de procedimientos a financiar. Este enfoque promovió una mayor objetividad en decisiones que tradicionalmente dependían de juicios políticos o presupuestos históricos.

En **Noruega**, (Islam et al., 2021) utilizaron el método MACBETH para diseñar una vía integrada de atención a adultos mayores frágiles. El modelo incorporó múltiples criterios como efectividad clínica, satisfacción del paciente, continuidad de cuidados y uso de recursos. Un aspecto distintivo fue la participación constante de médicos, enfermeros, gestores y representantes de pacientes en todas las etapas del proceso, lo que fortaleció la aceptación institucional y ciudadana del modelo de atención.

En **Polonia**, (Miszczyńska, 2020) aplicó el método PROMETHEE para priorizar inversiones en infraestructura hospitalaria en el marco de la modernización del sistema de salud. El estudio incluyó criterios como estado estructural de los edificios, acceso a servicios críticos, impacto regional y eficiencia operativa. La técnica permitió visualizar preferencias y gestionar compensaciones limitadas entre criterios, facilitando una toma de decisiones más equitativa y basada en evidencia, especialmente en regiones con infraestructura sanitaria deficiente.

En **China**, (Li et al., 2019) propusieron una variante del método ORESTE, basada en lógica difusa lingüística (hesitant fuzzy linguistic ORESTE), para priorizar el ingreso de pacientes a cirugías electivas en un hospital público terciario. El modelo abordó la complejidad de incorporar múltiples criterios clínicos y administrativos, tales como gravedad, tiempo de espera, riesgos de progresión y disponibilidad de recursos quirúrgicos. Esta metodología innovadora permitió mejorar la equidad en el acceso, reducir tiempos de espera críticos y optimizar la utilización de pabellones quirúrgicos.

Aplicaciones Nacionales de MCDA en Hospitales

En Chile, el uso de métodos multicriterio en salud ha comenzado a desarrollarse con experiencias relevantes, aunque aún limitadas en número y sofisticación. Uno de los ejemplos más destacados es el desarrollado por (Silva-Aravena et al., 2022) en un hospital de alta complejidad del sistema público, donde se implementó un sistema de apoyo a la decisión basado en MCDA para priorizar la atención de pacientes crónicos en listas de espera.

Este modelo integró múltiples criterios clínicos (como gravedad, riesgo de complicaciones y tiempo de espera), junto a factores de gestión (como disponibilidad de recursos o capacidad operativa). La metodología combinó técnicas de evaluación multicriterio con herramientas informáticas para facilitar la aplicación práctica. Los resultados demostraron una mejora significativa en la eficiencia de la atención, reduciendo los eventos adversos y agilizando la asignación de recursos. No obstante, el estudio plantea como limitación la baja consideración de interdependencias entre criterios, por ejemplo: la relación entre gravedad clínica y presión sobre recursos, lo que sugiere la necesidad de modelos más avanzados que puedan capturar estas dinámicas.

Por otro lado, (Zamorano et al., 2023) evaluaron un modelo de atención centrado en pacientes con multimorbilidad en el sistema público de salud, considerando la priorización de recursos médicos y hospitalarios en función de variables como riesgo clínico, comorbilidades, costo-efectividad y continuidad de atención. Si bien el enfoque no está formalmente enmarcado en una técnica MCDA clásica, incorpora el uso de ponderaciones estructuradas y análisis de impacto económico y sanitario que lo aproximan a una lógica multicriterio.

El estudio reveló una reducción importante en los costos hospitalarios y una mejora en los indicadores de calidad de vida y supervivencia, especialmente al integrar factores no tradicionales como la carga social del cuidado o la fragmentación del sistema. Este caso demuestra cómo los enfoques multicriterio pueden ser adaptados a realidades locales para abordar decisiones complejas en salud, aunque también evidencia la falta de estandarización metodológica y la ausencia de herramientas que permitan modelar relaciones cruzadas entre criterios, tales como las que ofrece ANP.

| Estudios | Indonesia | Brasil | Irán | Noruega | Polonia | China | Chile (Lista de espera) | Chile (Multimorbilidad) |
|--------------------------|---|--|--|--|---|---|--|---|
| Criterios evaluados | Costos, calidad, tiempo de entrega, sostenibilidad. | Gravedad clínica, accesibilidad, costos, beneficios sanitarios. | Efectividad clínica, costos, urgencia, equidad, aceptabilidad social. | Efectividad, costos, tiempo de espera, satisfacción del paciente, continuidad de atención. | Complejidad técnica, urgencia médica, tipo de hospital, disponibilidad de camas. | Riesgo quirúrgico, tipo de procedimiento, tiempo de espera, preferencias del paciente. | Gravedad, tiempo en lista, disponibilidad de recursos. | Riesgo clínico, comorbilidades, costo-efectividad. |
| Método utilizado | MCDA basado en criterios ponderados mediante expertos. | MCDA con método Delphi y ponderación de expertos. | AHP (Analytic Hierarchy Process). | MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique). | PROMETHEE II con visualización multicriterio. | ORESTE difuso lingüístico con enfoque hesitant fuzzy. | MCDA ad-hoc con ponderación por panel de expertos. | MCDA multicriterio basado en análisis de impacto económico y sanitario. |
| Ventajas de implantación | Permite adaptar criterios a necesidades locales, mejora transparencia en compras hospitalarias. | Optimiza recursos en emergencias médicas, priorización ágil y contextualizada. | Facilita decisiones de cobertura transparentes, incorpora criterios éticos y sociales. | Mejora integral de atención en adultos mayores, involucra a pacientes y profesionales. | Permite balancear criterios múltiples en tiempo real con visualizaciones accesibles. | Modelo robusto para entornos con incertidumbre y múltiples actores. Mejora la priorización quirúrgica en entornos congestionados. | Mejora eficiencia en listas de espera, priorización objetiva según gravedad y gestión. | Reduce costos hospitalarios, mejora calidad de vida y supervivencia. |
| Resultados | Decisiones de adquisición más eficientes y alineadas con prioridades hospitalarias. | Mejora significativa en asignación de recursos y tiempos de respuesta. | Definición de coberturas más equitativas y costo-efectivas en ortopedia. | Reducción de hospitalizaciones innecesarias y mejora en continuidad de cuidados. | Apoya la toma de decisiones de admisión hospitalaria en contextos con escasez de camas. | Mejora en equidad y eficiencia en la admisión de pacientes quirúrgicos. Reduce conflictos en decisiones clínicas. | Disminución de eventos críticos y mayor eficiencia en gestión de listas. | Disminución de costos y mejoras en indicadores clínicos y de calidad de vida. |

Tabla3: Tabla comparativa de estudios aplicado de MCDM. **Fuente:** Creación propia

En referencia a la tabla 3, se evidencia un cuadro comparativo de ocho estudios nacionales e internacionales que aplican métodos de decisión multicriterio (MCDA) en contextos hospitalarios, donde se permite identificar patrones y aprendizajes relevantes para el diseño de sistemas de priorización de inversiones en salud pública. Los casos revisados reflejan una diversidad tanto en las metodologías utilizadas como en los criterios evaluados, lo que evidencia la flexibilidad del enfoque MCDA para adaptarse a distintas realidades institucionales, geográficas y sanitarias.

En cuanto a los métodos empleados, se observa una combinación de enfoques tradicionales como AHP (Irán), métodos más participativos como MACBETH (Noruega) y ad-hoc (Chile), así como técnicas avanzadas como PROMETHEE (Polonia) y ORESTE con lógica difusa (China), orientadas a contextos de alta incertidumbre. Esta diversidad metodológica demuestra que no existe una solución única, sino que la elección del método depende de factores como la complejidad del problema, la disponibilidad de datos, la necesidad de participación de actores y el nivel de formalización requerido.

Respecto a los criterios utilizados, existe un núcleo común que incluye: impacto sanitario, costos, urgencia, equidad y cobertura, presentes en la mayoría de los estudios. Sin embargo, también se identifican criterios contextuales, como sostenibilidad en adquisiciones hospitalarias (Indonesia), satisfacción del paciente y continuidad de atención (Noruega), o preferencias del paciente y riesgo quirúrgico (China), lo que sugiere que un sistema de priorización debe ser capaz de incorporar tanto variables estructurales como factores sociales y operativos específicos del territorio.

Soluciones internacionales vs realidad chilena

La comparación entre los ocho estudios resumidos en la Tabla 3 muestra que los países con sistemas MCDA consolidados (Noruega, Polonia, China, Irán, Brasil e Indonesia) han logrado reducciones tangibles en tiempos de respuesta, hospitalizaciones evitables y uso ineficiente de recursos gracias a modelos transparentes, participativos y basados en datos.

En contraste, Chile presenta procesos menos estandarizados: la priorización de listas de espera (Silva-Aravena et al., 2022) y el modelo de multimorbilidad (Zamorano et al., 2023) funcionan, pero siguen siendo esquemas ad-hoc que no modelan interdependencias ni usan datos públicos de forma sistemática. Esta brecha se vuelve crítica al revisar los indicadores de magnitud del problema:

| Indicador de brecha (Chile, 2024-2025) | Dato |
|--|--|
| Pacientes en lista de espera no-GES | 2,5 millones |
| Consultas de especialidad pendientes | 2,6 millones |
| Cirugías electivas en espera | 390 229 |
| Fallecidos en lista de espera (2023) | 35 492 |
| Costo estimado para resolver lista quirúrgica no-GES | ≈ US\$ 800 millones (CLP 748 000 millones) |
| Camas hospitalarias por 1000 hab. (promedio país) | 1,91 (OECD ≈ 4,4) |
| Camas/1000 hab. en Región de Ñuble | 0,2 |

Tabla4: Tabla de indicadores relevantes para investigación de salud en Chile. **Fuente:** Creación propia, Datos obtenidos del DEIS y MINSAL.

Las cifras entregadas por la Tabla 4 evidencian inequidad territorial, costos económicos elevados y pérdidas sanitarias (mortalidad por listas de espera). Además, estudios de (Espinoza et al., 2023) identifica que, en el contexto chileno, muchas decisiones de inversión se toman sin una estructura formal de evaluación multicriterio, lo que limita la trazabilidad y dificulta la justificación técnica frente a la ciudadanía.

Por su parte, (Saint-Pierre & Sugg H., 2023) destaca que la falta de criterios explícitos y validados, junto con la escasa participación de actores sociales, genera inequidades territoriales en la asignación de recursos, especialmente en regiones rezagadas o con menor representación política. Ambos estudios coinciden en que las decisiones en salud pública, particularmente aquellas de alto impacto como la construcción o modernización de hospitales, requieren de modelos que no solo integren múltiples criterios, sino que también aseguren la coherencia, transparencia y legitimidad social del proceso.

Chile carece de un modelo formal que integre criterios interdependientes, utilizando open data (listas de espera, presupuestos regionales, indicadores de camas, mortalidad evitable) y garantice trazabilidad y participación experta/ciudadana. Esta brecha justifica la adopción de un ANP alimentado con datos abiertos, capaz de reflejar las relaciones cruzadas entre urgencia, impacto sanitario, cobertura y factibilidad, aportando transparencia y equidad a la priorización de inversiones hospitalarias.

Criterios Recurrentes y sus interdependencias

- **Urgencia y Severidad del Caso:** Este criterio se asocia principalmente a la gravedad clínica de las condiciones que requieren intervención, el riesgo de complicaciones severas y la posibilidad de evitar muertes o secuelas graves mediante la pronta disponibilidad de servicios hospitalarios adecuados, por lo que es un criterio importante y se prioriza en proyectos relacionados a lista de espera.

- **Impacto Sanitario:** Hace referencia al potencial efecto positivo que la inversión proyectada tendrá sobre la salud de la población objetivo. Esto incluye la capacidad de la intervención para disminuir tasas de morbilidad, mortalidad o discapacidad, mejorar indicadores de salud pública y reducir brechas sanitarias entre territorios o grupos sociales.
- **Cobertura y Equidad Geográfica:** Este criterio considera la cantidad de población que se verá beneficiada con la inversión y su distribución territorial, privilegiando aquellas iniciativas que permitan mejorar el acceso a servicios hospitalarios en regiones rezagadas o sectores históricamente desatendidos. Responde al principio de equidad territorial en salud, procurando garantizar que la infraestructura hospitalaria se distribuya proporcionalmente en función de las necesidades de las distintas zonas del país y no solo en función de demanda agregada.
- **Costos y Eficiencia:** Evalúa la relación entre los costos de implementación y operación de la inversión, y los beneficios sanitarios que genera. Considera indicadores como el costo por paciente beneficiado, costo-efectividad o retorno sanitario de la inversión. Este criterio permite priorizar proyectos que, manteniendo un estándar de calidad, logren maximizar el uso eficiente de los recursos públicos disponibles.
- **Alineación Estratégica:** Determina el grado de coherencia del proyecto con las políticas públicas, planes estratégicos de salud, prioridades ministeriales y compromisos gubernamentales vigentes. Este criterio permite asegurar que las inversiones se orienten hacia los objetivos estratégicos nacionales en salud, evitando iniciativas aisladas o poco articuladas con las estrategias sanitarias de largo plazo.
- **Factibilidad Técnica:** Corresponde a la viabilidad de implementación técnica, operativa y administrativa del proyecto hospitalario. Considera la disponibilidad de recursos humanos capacitados, factibilidad de habilitación de infraestructura, accesibilidad territorial, soporte logístico, y condiciones presupuestarias y regulatorias necesarias para concretar la inversión y mantenerla en operación.

Interdependencias clave detectadas:

- **Urgencia ↔ Costos:** Intervenciones urgentes suelen requerir mayores recursos por paciente.
- **Cobertura ↔ Eficiencia:** Proyectos de gran alcance mejoran la eficiencia promedio, pero pueden tensionar la factibilidad técnica.
- **Impacto sanitario ↔ Alineación estratégica:** Patologías de alta carga de enfermedad suelen estar priorizadas en planes ministeriales, reforzando su peso.
- **Equidad ↔ Cobertura/Factibilidad:** Priorizar zonas rezagadas mejora la equidad, pero puede enfrentar limitaciones técnicas.

2.4. Uso de Datos Abiertos y Tecnologías en la Toma de Decisiones en Salud

La tendencia emergente de los datos abiertos, particularmente en el entorno de salud, ha cambiado la acción de decisión en salud. En este sentido, un creciente número de datos ofrecen indicadores regionales que actualizan los presupuestos y listas de espera, al igual que entregan una base fuerte para desarrollar modelos de decisión y análisis multicriterio que orienten la priorización de inversiones en infraestructura y servicios hospitalarios (MINSAL, 2024; OGP, 2023; CNEP, 2023).

Estadísticas oficiales en Chile para apoyar criterios MCDA

En Chile, entidades como el Departamento de Estadísticas e Información de Salud, del Ministerio de Salud y el portal de datos abiertos del Fondo Nacional de Salud ofrecen una diversidad de datos, entre ellos, estadísticas hospitalarias, indicadores epidemiológicos y reportes de listas de espera (MINSAL, 2024; FONASA, 2024). De esta forma, permite a los investigadores y gestores de salud la oportunidad de monitorear tendencias y tomar decisiones informadas (Gobierno de Chile, 2024)

Sin embargo, persisten desafíos relacionados con la calidad, actualización y granularidad de los datos. Un informe de la Comisión Nacional de Productividad destaca la necesidad de mejorar la calidad de los datos y los sistemas de información en el sistema de salud chileno, señalando que la baja calidad de los datos puede limitar su utilidad en la toma de decisiones (CNEP, 2023).

El presupuesto de salud en Chile para el año 2024 aumentó un 8,1% el cual representa alrededor del 40% del presupuesto total nacional (DIPRES, 2024).

Chile cuenta con fuentes oficiales clave (DEIS, Hospital Digital, MINSAL, el Portal del Paciente, entre otros) que registran información crítica para evaluar criterios MCDA:

- Listas de espera No-GES y GES: Al cierre de 2024, había 2.601.084 consultas de especialidad en espera (no-GES) y 390.229 cirugías pendientes, con una mediana de espera quirúrgica de 294 días y 240 días para especialidad, respectivamente (DEIS, 2024).
- Mortalidad en lista de espera: En 2023 fallecieron 35.492 personas mientras estaban en espera (La Tercera, 2024).
- Hospital Digital (Portal del Paciente): La mediana de tiempos de espera quirúrgica se redujo de 549 a 330 días entre enero 2022 y marzo 2023, y en consultas de especialidad de 350 a 261 días (Gobierno de Chile, 2023).
- Interrupciones en urgencias: En 2022 el 37 % de los pacientes hospitalizados en urgencias esperaron más de 12 horas para cama (CNEP, 2023).

Estos indicadores pueden transformarse en subcriterios cuantificables en el modelo ANP, por ejemplo:

- Tiempos de espera → subcriterio urgencia clínica.
- Mortalidad en lista → subcriterio impacto sanitario.
- Congestión de urgencias → subcriterio factibilidad técnica/infraestructura hospitalaria.

Con estos datos, el modelo ANP puede asignar ponderaciones basadas en evidencia y generar priorizaciones más objetivas.

Transformación de datos abiertos en insumos para MCDA/ANP

Un proceso estructurado para convertir datos en subcriterios:

1. Selección de variables: elegir indicadores relevantes (días de espera, tasa de mortalidad en lista, camas por 1 000 hab., tiempo de triage).
2. Normalización: convertir valores en puntajes comparables (por ejemplo, 0–1) según distribuciones nacionales.
3. Mapeo a criterios/subcriterios:
 - a. Una mediana de espera de 300 días → mayor urgencia clínica.
 - b. Mortalidad en lista (1,4 % de pacientes en espera) → impacto sanitario.
 - c. Camas por habitante → infraestructura/factibilidad técnica.
4. Integración en matrices de comparación pareada: expertos comparan indicadores basados en evidencia (datos de open data).
5. Validación iterativa con stakeholders (gestores, clínicos, pacientes), para ajustar pesos.

Este enfoque fortalece la validez, fiabilidad y transparencia del modelo, ya que cada criterio proviene de datos abiertos verificables.

Integración de técnicas de simulación en el procesamiento de datos

Un aspecto crítico en el uso de datos abiertos para la toma de decisiones en salud es la presencia de incertidumbre, heterogeneidad y vacíos de información en los registros disponibles. Para enfrentar esta limitación, técnicas de simulación como Monte Carlo se han consolidado como un recurso metodológico clave. Su aplicación permite generar distribuciones probabilísticas a partir de datos históricos o incompletos, entregando valores esperados más robustos y rangos de confianza que reflejan la variabilidad real de los sistemas hospitalarios (Rahardjo et al., 2023). En el contexto de un modelo MCDA/ANP, esta técnica posibilita la estimación más realista de variables críticas como, costos de inversión (CAPEX),

gastos operativos (OPEX) o tiempos de implementación, fortaleciendo así la confiabilidad de los resultados y su aplicabilidad práctica en escenarios de planificación sanitaria.

Posibilidades y Limitaciones de su Uso para Estructurar Decisiones Reales

El uso de datos abiertos permite una mayor transparencia y participación en la toma de decisiones en salud. Iniciativas como la Open Government Partnership (OGP) promueven el uso de datos abiertos para fortalecer los sistemas de salud mediante la toma de decisiones públicas participativas y responsables (OGP, 2023).

No obstante, la implementación efectiva de estas iniciativas requiere superar barreras como la falta de interoperabilidad entre sistemas de información y la ausencia de estándares comunes para la recopilación y presentación de datos. Además, es esencial garantizar la protección de la privacidad y la seguridad de los datos de los pacientes (CNEP, 2023).

Los datos abiertos presentan los siguientes desafíos:

- **Interoperabilidad limitada:** Distintos sistemas (DEIS, Portal Paciente, Hospital Digital) operan sin integración plena, lo que dificulta construir datasets consolidados (CNEP, 2023).
- **Calidad y actualización:** Informes indican que los datos pueden sufrir retrasos de hasta 10 días hábiles, errores de digitación o registros eliminados, como en el hospital Sótero del Río (La Tercera, 2023).
- **Cobertura desigual:** No todos los hospitales o regiones actualizan información de forma constante; la disponibilidad de especialistas (solo 4,6 médicos por 10.000 habitantes en regiones) no siempre está reflejada en los sistemas (Espinoza et al., 2023).
- **Privacidad y anonimato:** El acceso a datos clínicos granulares está limitado por normativa, lo que puede restringir la granularidad del análisis (CNEP, 2023).
- **Sobrecarga de datos y falta de procesamiento:** Sin unidad de analítica (como la que requiere Hospital Digital), los datos se almacenan, pero no se transforman en inteligencia accionable (Saint-Pierre & Sugg H., 2023).

Revisión de Plataformas e Iniciativas en Gobiernos Abiertos

A nivel internacional, diversos países han adoptado políticas de datos abiertos en salud como parte de sus compromisos con la OGP. Estas políticas buscan mejorar la transparencia, la rendición de cuentas y la participación ciudadana en la formulación de políticas de salud. Por ejemplo, la OGP ha documentado cómo los gobiernos utilizan datos abiertos para construir sistemas de salud más sólidos mediante la toma de decisiones públicas participativas y responsables (OGP, 2023).

En Chile, el portal de datos abiertos del gobierno proporciona acceso a conjuntos de datos relacionados con el sistema de salud, estadísticas sanitarias y políticas de salud pública. Estos recursos son fundamentales para fomentar la innovación y mejorar la eficiencia en la prestación de servicios de salud (Gobierno de Chile, 2024)

Potencial de las Herramientas Tecnológicas para la Implementación de Sistemas de Apoyo a la Decisión

El avance de las tecnologías de la información ha facilitado el desarrollo de herramientas que permiten procesar y visualizar grandes volúmenes de datos de manera eficiente. Lenguajes de programación como Python ofrecen bibliotecas y frameworks, como Dash, Streamlit y Plotly, que permiten la creación de dashboards interactivos para la visualización de datos en tiempo real (PLANEKS, 2023)

Estas herramientas son especialmente útiles en el contexto de la salud, donde la capacidad de analizar y visualizar datos de manera efectiva puede mejorar significativamente la toma de decisiones clínicas y administrativas. Por ejemplo, la implementación de dashboards en sistemas de salud ha demostrado ser efectiva para optimizar procesos y apoyar la toma de decisiones estratégicas (GoodData, 2023).

Además, la integración de técnicas de simulación y modelos predictivos en los sistemas de apoyo a la decisión puede mejorar la capacidad de anticipar y responder a las necesidades de salud de la población. La utilización de estas herramientas tecnológicas permite una asignación más eficiente de los recursos y una mejor planificación de los servicios de salud (CNEP, 2023).

3. Formulación del Problema

3.1 Descripción del Problema

La asignación de recursos en el sistema público de salud chileno enfrenta una tensión estructural entre las necesidades crecientes de la población y las limitaciones presupuestarias del Estado. Este escenario se manifiesta de manera crítica en los hospitales de alta complejidad, donde la priorización de inversiones resulta decisiva para sostener la continuidad y calidad de los servicios. Sin embargo, el proceso de toma de decisiones en Chile carece de un marco metodológico estandarizado, transparente y replicable que permita jerarquizar proyectos de inversión en función de criterios múltiples y objetivos.

En la práctica, las decisiones se han sustentado en mecanismos tradicionales como el análisis costo-beneficio, el valor actual neto o, en muchos casos, en criterios discrecionales de tipo político-administrativo. Estas aproximaciones, si bien útiles en escenarios financieros, presentan limitaciones notorias al momento de capturar dimensiones sociales, sanitarias y territoriales relevantes para la equidad y eficiencia del sistema (Culyer & Chalkidou, 2019; Reyes et al., 2018).

La situación se agrava en el ámbito hospitalario, donde los indicadores muestran una presión creciente: más de 2,6 millones de consultas de especialidad pendientes, 390.229 cirugías electivas en espera y 35.492 personas fallecidas en listas de espera durante 2023 (DEIS, 2024). Estas cifras evidencian la magnitud del problema y la urgencia de contar con herramientas de priorización que garanticen la trazabilidad y legitimidad de las decisiones.

A nivel metodológico, la literatura reconoce la utilidad de los métodos multicriterio (MCDA/ANP) para enfrentar problemas complejos de asignación de recursos en salud (Cinelli et al., 2022; Gongora-Salazar et al., 2023). No obstante, persisten brechas críticas: (i) la mayoría de los modelos definen las interdependencias entre criterios de forma subjetiva, lo que introduce sesgos en la estructura de decisión, y (ii) pocos estudios integran de manera sistemática la incertidumbre inherente a los datos hospitalarios, los cuales suelen ser incompletos o heterogéneos (Rahardjo et al., 2023; Schulze-González et al., 2021).

En consecuencia, la ausencia de un modelo formal que combine criterios interdependientes, datos abiertos verificables y mecanismos para gestionar la incertidumbre limita la capacidad del sistema público chileno para tomar decisiones de inversión más eficientes, equitativas y transparentes.

3.2 Solución propuesta

Para abordar esta problemática, se propone el diseño e implementación de un Framework híbrido de priorización de inversiones hospitalarias basado en el método DANP (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory – Analytic Network Process), complementado con simulaciones de Monte Carlo y datos abiertos del sistema de salud chileno.

El enfoque DANP integra dos fortalezas metodológicas:

- **DEMATEL** permite estructurar de manera objetiva las relaciones de causa-efecto entre criterios, reduciendo la subjetividad asociada al juicio experto.
- **ANP** posibilita calcular prioridades globales en sistemas complejos con interdependencias, considerando la retroalimentación entre criterios y alternativas.

Adicionalmente, la incorporación de simulación Monte Carlo permite robustecer la estimación de variables críticas (como costos, tiempos de espera y factibilidad técnica), al modelar la incertidumbre inherente de los datos hospitalarios abiertos (Rahardjo et al., 2023).

De este modo, el Framework busca no solo mejorar la calidad técnica de la priorización, sino también fortalecer la legitimidad y transparencia del proceso, aportando una herramienta replicable para la gestión estratégica de inversiones en el sistema público de salud chileno.

3.3 Pregunta de Investigación

¿De qué manera un Framework híbrido DANP, robustecido con simulaciones Monte Carlo, permite generar un ranking de prioridades de inversión que sea estructuralmente justificado empíricamente, robusto y estable ante la incertidumbre?

Hipótesis

La aplicación de un Framework híbrido DANP, complementado con simulaciones Monte Carlo y datos abiertos del sistema de salud chileno, permite generar un ranking de prioridades donde la estructura de decisión está validada causalmente por DEMATEL y cuya robustez es verificable mediante análisis de sensibilidad, superando las limitaciones de los enfoques tradicionales.

3.4 Objetivo General

Desarrollar y validar un Framework híbrido DEMATEL-ANP, para la priorización transparente y sistemática de carteras de inversión a nivel intrahospitalario, utilizando datos abiertos del sistema de salud chileno.

Objetivos Específicos

1. Identificar un sistema de criterios para la inversión intrahospitalaria mediante una revisión sistemática de literatura y establecer sus relaciones causales a través del método DEMATEL, con validación de un panel de expertos.
2. Construir un modelo de priorización híbrido DANP que integre los pesos derivados causalmente con datos cuantitativos de entrada, cuya incertidumbre sea gestionada explícitamente mediante Simulación de Monte Carlo.
3. Implementar un Framework completo en una herramienta computacional para obtener el ranking de prioridades y evaluar la estabilidad del resultado mediante un análisis de sensibilidad automatizado.
4. Validar la coherencia y aplicabilidad del Framework y sus resultados mediante su aplicación a un caso de estudio en un hospital de alta complejidad

3.5 Justificación

La presente investigación adquiere relevancia en un contexto en el que los sistemas de salud enfrentan crecientes desafíos para asignar recursos limitados de manera equitativa, eficiente y transparente. En Chile, la magnitud de las listas de espera, las muertes asociadas a demoras en la atención y la marcada inequidad territorial en infraestructura hospitalaria hacen evidente la necesidad de contar con metodologías sólidas que orienten la priorización de inversiones sanitarias (DEIS, 2024; Espinoza et al., 2023).

Desde una perspectiva académica, este estudio aborda una brecha metodológica identificada en la literatura: la mayoría de las aplicaciones de MCDA/ANP en salud se sustentan en juicios subjetivos de expertos para definir interdependencias entre criterios y rara vez incorporan la incertidumbre de los datos hospitalarios (Ortíz et al., 2015; Schulze-González et al., 2021). Al integrar DEMATEL y simulaciones Monte Carlo en un Framework híbrido (DANP), esta investigación contribuye con un enfoque innovador que fortalece la validez empírica y la robustez de los resultados, ampliando el cuerpo teórico y metodológico sobre priorización multicriterio en salud (Cinelli et al., 2022; Rahardjo et al., 2023).

En el plano **social**, la propuesta promueve un modelo de toma de decisiones más justo, participativo y basado en evidencia verificable. Al considerar criterios como urgencia, impacto sanitario, equidad geográfica y factibilidad técnica, el Framework contribuye a garantizar que las inversiones en infraestructura hospitalaria respondan a las necesidades reales de la población, reduciendo desigualdades y aumentando la legitimidad de las decisiones públicas (Gongora-Salazar et al., 2023; Saint-Pierre & Sugg H., 2023).

Por último, desde una perspectiva práctica, el desarrollo de este modelo ofrece una herramienta replicable y aplicable en la gestión hospitalaria chilena. Al apoyarse en datos abiertos y técnicas de simulación, el Framework puede ser implementado por autoridades de

salud a distintos niveles (hospitalario, regional o nacional), facilitando la asignación eficiente de recursos y la planificación estratégica en un entorno caracterizado por alta incertidumbre y presión social (MINSAL, 2024; CNEP, 2023).

En síntesis, la investigación tiene el potencial de generar un impacto significativo al contribuir al avance metodológico en el campo académico, promover decisiones sanitarias más equitativas en el ámbito social y entregar una solución práctica que fortalezca la gestión hospitalaria en Chile.

4. Diseño Metodológico

4.1 Diseño Metodológico del Estudio

Este estudio se enmarca en una investigación aplicada de carácter descriptivo y exploratorio, orientada al desarrollo de un modelo de apoyo multicriterio para la priorización de inversiones intrahospitalarias en un Hospital de Alta Complejidad. La problemática abordada se sitúa en el ámbito de la planificación estratégica hospitalaria, donde existen múltiples necesidades de infraestructura, recursos humanos, equipamiento y capacidad de resolución clínica, las cuales deben ser priorizadas bajo condiciones de recursos limitados, criterios múltiples y diversos actores involucrados.

Enfoque metodológico

El enfoque metodológico adoptado en esta investigación es de tipo híbrido, tanto en términos de los métodos utilizados como de la naturaleza de los datos empleados en el modelo. Por una parte, se emplea una metodología multicriterio híbrida DANP (DEMATEL + ANP), la cual permite abordar problemas complejos con relaciones no jerárquicas entre criterios. Por otra parte, se reconoce que el modelo debe integrar tres tipos distintos de información, lo que justifica un enfoque de integración de datos:

1. **Datos cuantitativos objetivos:** obtenidos desde fuentes abiertas y oficiales, tales como indicadores regionales de salud, presupuestos públicos, tasas de espera, población beneficiaria, entre otros.
2. **Datos cualitativos estructurados:** que corresponden a variables categóricas o evaluaciones no numéricas (como el alineamiento estratégico o la viabilidad política), las cuales son transformadas en valores cuantitativos mediante procesos de normalización y estandarización en una escala común.
3. **Juicios de valor de expertos:** utilizados en las fases estructurales y comparativas del modelo (DEMATEL y ANP), donde se requiere la valoración subjetiva pero experta sobre relaciones de influencia, pesos relativos o percepción de impacto.

Esta integración de fuentes de información y métodos analíticos busca fortalecer la robustez, trazabilidad y aplicabilidad del modelo, y permitir su eventual uso por parte de instituciones públicas, ministerios o servicios de salud en sus procesos de planificación.

Estructura metodológica

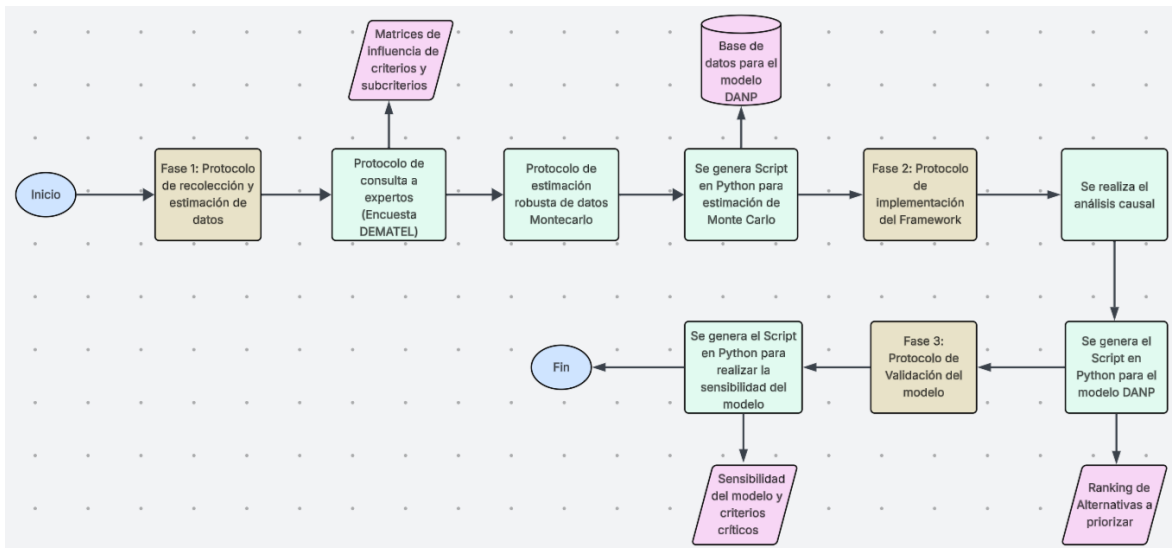


Figura 1: Diagrama de flujo del Protocolo de Investigación y las fases metodológicas **Fuente:** Creación propia.

Como se visualiza en la Figura 1, la metodología propuesta para el desarrollo de este estudio se estructura en tres fases principales, que permiten avanzar de la recolección de información hacia la implementación del modelo y, finalmente, a la validación de sus resultados.

1. **Recolección y estimación de Datos:** En esta primera etapa se definen y aplican los instrumentos necesarios para obtener la información base del modelo. Se incluyen, por un lado, las encuestas a expertos utilizadas para construir las matrices de influencia de criterios y subcriterios bajo el enfoque DEMATEL, y por otro, la base de datos consolidada de indicadores cuantitativos y cualitativos asociada a cada alternativa de inversión. Para la estimación de variables con incertidumbre (costos, tiempos y demandas de servicio), se emplea un procedimiento de simulación de Monte Carlo con distribución triangular, lo que permite obtener valores esperados robustos y medidas de variabilidad. El resultado de esta fase es un conjunto de insumos consistentes y validados para su integración en el modelo de decisión.
2. **Implementación del Framework DANP:** En esta fase se lleva a cabo la integración de la información en un modelo híbrido DEMATEL–ANP (DANP). El procedimiento comienza con el cálculo de las matrices de influencia total de criterios y subcriterios mediante DEMATEL, lo que permite identificar interdependencias y relaciones causales dentro del sistema. Posteriormente, se derivan los pesos globales de los subcriterios mediante la extensión ANP, los cuales son combinados con la base de datos de alternativas previamente normalizada. Para el procesamiento de los cálculos se utiliza Python, implementando rutinas específicas que automatizan la construcción de las supermatrices, la obtención de los pesos y el cálculo del ranking final de priorización de alternativas.

3. **Validación y Análisis de Sensibilidad Automatizado:** La última fase se orienta a evaluar la robustez y estabilidad de los resultados. Para ello, se identifican los criterios más críticos a partir de la prominencia obtenida en DEMATEL y se simula la variación de sus pesos en diferentes escenarios. A través de un análisis de sensibilidad automatizado, se observa el impacto de estas variaciones sobre el ranking final de alternativas, lo que permite determinar la consistencia del modelo frente a cambios en las condiciones iniciales. Este procedimiento fortalece la validez de los resultados y contribuye a su aplicabilidad en contextos de decisión pública caracterizados por alta incertidumbre.

Esta metodología permite combinar las fortalezas del conocimiento experto con evidencia empírica cuantificable, respetando la naturaleza multidimensional del problema de decisión y ofreciendo una herramienta replicable para la planificación estratégica en salud pública.

4.2 Caracterización del Caso de Estudio y Alternativas de Inversión

En este estudio se aborda la situación de un Hospital de Alta Complejidad del Servicio de Salud Valparaíso-San Antonio, ubicado en la ciudad de Valparaíso. El análisis se enmarca en su función como hospital de referencia regional, atendiendo a una población estimada de más de 1,7 millones de habitantes provenientes de las provincias de Valparaíso, San Antonio, Marga Marga y Quillota (FONASA, 2024).

Según fuentes oficiales (DEIS, 2023), el HCVB cuenta con aproximadamente 542 camas habilitadas, de las cuales 25 corresponden a camas UCI y 26 a camas UTI. Además, dispone de 16 quirófanos operativos para cirugías mayores (complejas y ambulatorias), junto con la habilitación de tres nuevas salas de procedimientos menores.

Una auditoría de la Contraloría General de la República (CGR) detectó que, hasta marzo de 2022, existían más de 33.000 casos pendientes en listas de espera no GES, con demoras que iban desde 1 mes hasta 4 años (Biobío Chile, 2025). A su vez, se reportó un promedio de demora de 390 días para cirugías electivas, cercano al promedio nacional de 425 días. El informe también reveló irregularidades como, pacientes fallecidos aún listados, casos de duplicidad de registros y desconexión entre los sistemas hospitalarios y los registros centrales, lo que compromete la trazabilidad de la gestión (La Tercera, 2024; ADN Radio, 2024).

A nivel epidemiológico, la Región de Valparaíso refleja una carga de enfermedad similar a la tendencia nacional. Las principales causas de mortalidad corresponden a tumores malignos (C00–C99), enfermedades cardiovasculares (I00–I99) y enfermedades respiratorias crónicas (J40–J47), seguidas por enfermedades metabólicas como la diabetes mellitus (E10–E14) (DEIS, 2023). Este perfil epidemiológico explica la alta presión sobre las unidades críticas y de especialidad del HCVB, reforzando la necesidad de fortalecer su capacidad resolutoria.

A partir de información del Departamento de Estadísticas e Información de Salud (DEIS) y reportes del MINSAL, se identifican las siguientes problemáticas estructurales:

- Listas de espera quirúrgica y de especialidades médicas, con tiempos promedio que superan los estándares nacionales.
- Déficit de recursos humanos especializados, particularmente en áreas de alta demanda como anestesiología, medicina intensiva y oncología.
- Infraestructura hospitalaria envejecida, con servicios que requieren modernización y ampliación para responder a estándares actuales.
- Carencia de equipamiento clínico avanzado o equipos con obsolescencia, lo que limita la capacidad diagnóstica y resolutive.
- Altas tasas de hospitalización por enfermedades crónicas y oncológicas, coherentes con la carga epidemiológica regional.

La selección de un Hospital de Alta Complejidad se justifica en su relevancia estratégica dentro del sistema público de salud de la Región de Valparaíso. La magnitud de su población beneficiaria, junto con las brechas identificadas en infraestructura, equipamiento, recursos humanos y gestión, lo convierten en un escenario representativo para evaluar la pertinencia de un modelo de priorización multicriterio. Estas brechas se reflejan directamente en los cuatro ámbitos críticos de inversión definidos en este estudio: infraestructura hospitalaria, recursos humanos, equipamiento clínico y gestión de listas de espera.

Identificación de alternativas, criterios y subcriterios:

Con el fin de operacionalizar el modelo de priorización propuesto, es necesario definir las alternativas de inversión que serán objeto de evaluación, así como los criterios y subcriterios que permitirán valorar su relevancia relativa. Estas alternativas corresponden a las principales líneas de acción estratégica en la salud, mientras que los criterios y subcriterios reflejan dimensiones técnicas, sociales, económicas y estratégicas identificadas en la literatura y adaptadas al contexto nacional. A continuación, se presentan las alternativas a priorizar y los criterios considerados en el modelo.

Alternativas de decisión (a priorizar):

1. Infraestructura Hospitalaria A1

Esta alternativa hace referencia a toda inversión relacionada a la infraestructura del establecimiento, por ejemplo: renovación de pabellones, ampliaciones de áreas de urgencia, ampliación de camas clínicas, etc.

Justificación: Según cifras del DEIS y del Ministerio de Salud, el hospital presenta una alta ocupación de camas UCI/UCI intermedia y un número limitado de pabellones quirúrgicos activos, lo que ha derivado en largas listas de espera para cirugías electivas y especialidades. Por ejemplo, en 2023, un Hospital de Alta Complejidad acumuló más de 7.000 personas en lista de espera quirúrgica, muchas de ellas con esperas superiores a 180 días (DEIS, 2024).

El hospital fue fundado en 1912, y a pesar de algunas remodelaciones parciales, su planta física no ha sido completamente renovada para ajustarse a estándares modernos de seguridad estructural, eficiencia energética y flujos clínicos (MINSAL, 2023).

2. Recursos humanos A2

Esta alternativa hace referencia a la gestión del personal de trabajo del hospital, por ejemplo: contratación de especialistas, formación continua, turnos reforzados, etc.

Justificación: La falta de personal médico y paramédico especializado es una de las principales limitaciones para aumentar la capacidad resolutive en hospitales públicos. Diversos informes (CENABAST, 2023; Hospital Digital) indican una brecha persistente en especialidades críticas como anestesiología, medicina interna, geriatría y enfermería de cuidados intensivos.

3. Insumos clínicos y equipamiento A3

Esta alternativa hace referencia, por ejemplo: la adquisición de monitores, ventiladores, insumos quirúrgicos, medicamentos, etc.

Justificación: Uno de los principales cuellos de botella en hospitales de alta complejidad como es la falta o deterioro del equipamiento médico necesario para procedimientos quirúrgicos, diagnósticos por imágenes o soporte vital. Informes internos y reportes regionales (MINSAL, 2023) han señalado frecuentes interrupciones en pabellones debido a fallas en equipos como autoclaves, torres laparoscópicas o monitores multiparámetro.

4. Gestión de listas de espera A4

Esta alternativa hace referencia a una inversión para la mejora de la gestión en las listas de espera, por ejemplo: fortalecimiento de hospital digital, priorización de pacientes con urgencia clínica, tecnología para trazabilidad, etc.

Justificación: El Hospital de referencia en la investigación concentra una alta proporción de listas de espera quirúrgicas y de especialidades en la región. Según datos del (DEIS, 2024), al segundo semestre de 2023 acumulaba más de 30 mil personas en listas de espera totales, incluyendo consultas de especialidades no resueltas y procedimientos quirúrgicos. Esta cifra lo ubica entre los hospitales con mayor rezago del país en atención oportuna.

Criterios y Subcriterios:

1. Urgencia y Severidad del Caso

- Gravedad del diagnóstico C11: Mide cuán severa es la condición médica que se busca tratar mediante la inversión, considerando el potencial de deterioro funcional, complicaciones o muerte si no se actúa oportunamente.
- Progresión y deterioro funcional C12: Evalúa tanto la velocidad con que progresa la enfermedad si no se interviene, como el grado en que afecta la capacidad funcional del paciente (movilidad, autonomía, cognición), impactando directamente en su calidad de vida.
- Condiciones clínicas agravantes C13: Considera la presencia de factores que aumentan el riesgo o la urgencia de intervención, tales como dolor intenso y persistente, alteraciones del sistema inmune, y patologías cardiovasculares o respiratorias que puedan comprometer la evolución del paciente.

2. Impacto Sanitario

- Reducción mortalidad y años de vida perdidos C21: Evalúa el potencial de la inversión para disminuir muertes prevenibles y recuperar años de vida perdidos por mortalidad prematura, priorizando patologías sensibles a intervenciones eficaces y oportunas.
- Reducción de morbilidad y eventos evitables C22: Mide en qué grado la inversión permitirá prevenir o tratar enfermedades, evitando complicaciones, secuelas, reconsultas y rehospitalizaciones innecesarias.

- Capacidad resolutive y reducción de listas de espera C23: Evalúa si la inversión aumentará la capacidad de resolución clínica del hospital, reduciendo la necesidad de derivaciones y disminuyendo los tiempos de espera en especialidades críticas.

3. Cobertura y Equidad Geográfica

- Cantidad de población beneficiada C31: Cantidad de personas que accederán directamente al nuevo servicio, intervención o capacidad instalada.
- Déficit territorial y rezago sanitario C32: Evalúa simultáneamente la ausencia o escasez de servicios similares en el área geográfica de influencia (déficit territorial) y el nivel de rezago sanitario histórico de la región o comuna según indicadores oficiales (inversión previa, infraestructura, recursos humanos). Prioriza zonas con menor cobertura y mayores carencias acumuladas.
- Cobertura de población vulnerable o priorizada C33: Considera si la intervención beneficiará a niños, adultos mayores, pueblos originarios, zonas rurales o población con alto índice de pobreza o aislamiento.

4. Costos y Eficiencia

- Costo total de la inversión (capex) C41: Corresponde a la inversión en infraestructura, equipamiento y habilitación inicial del proyecto hospitalario.
- Sostenibilidad y Costo-efectividad operativa C42: Evalúa simultáneamente la capacidad del hospital para sostener en el tiempo los gastos asociados al proyecto (OPEX: recursos humanos, insumos, mantención), junto con la relación entre dichos costos y los beneficios sanitarios obtenidos (costo por año de vida ganado u otros indicadores de eficiencia clínica).
- Retorno sanitario estimado C43: Estima el valor sanitario o social de cada peso invertido, priorizando proyectos que generan más beneficios por unidad de gasto.

5. Alineación Estratégica

- Coherencia con políticas y compromisos nacionales C51: Evalúa si la inversión está alineada con los planes y lineamientos estratégicos del Ministerio de Salud, el Plan Nacional de Inversiones y las Redes Asistenciales, así como con compromisos públicos asumidos por el gobierno, requerimientos legales o mandatos judiciales.

- Prioridad sanitaria según el diagnóstico de red asistencial C52: Determina si la inversión ha sido identificada como prioritaria por el propio servicio de salud, red asistencial o autoridad regional.

6. Factibilidad Técnica

- Disponibilidad de personal especializado C61: Determina si se cuenta con el personal clínico y técnico capacitado para operar la nueva unidad o intervención.
- Disponibilidad de recursos y capacidad instalada diagnostica UCI C62: Evalúa la suficiencia y estado de los recursos físicos y tecnológicos necesarios para implementar el proyecto (pabellones, camas clínicas, UCI, equipamiento quirúrgico y diagnóstico), considerando su operatividad y adecuación a estándares actuales.
- Tiempo estimado de implementación C63: Valora la rapidez con que puede ejecutarse y entrar en funcionamiento el proyecto, priorizando soluciones con resultados en el corto plazo.
- Factibilidad presupuestaria y normativa C64: Verifica si el proyecto cumple con la normativa sanitaria y de inversión pública vigente y si hay posibilidades reales de financiamiento.

4.3 Fase I: Recolección y Estimación de Datos.

La primera fase del modelo corresponde a la recolección y consolidación de datos, la cual constituye la base metodológica sobre la cual se estructura el Framework híbrido DANP. El objetivo central es integrar información cualitativa y cuantitativa proveniente tanto de juicios expertos como de fuentes estadísticas públicas, para conformar una base de datos robusta y coherente que permita alimentar las etapas posteriores del modelo.

Para ello se definieron dos instrumentos principales de captura:

- **Encuesta DEMATEL**, destinada a levantar los juicios de expertos respecto de las relaciones de influencia entre criterios y subcriterios, lo que permite construir las matrices de influencia directa que nutren la etapa estructural del modelo.
- **Base de Datos de Alternativas**, orientada a registrar los valores asociados a cada subcriterio en función de las alternativas de inversión, incorporando métricas cuantitativas (estimadas mediante simulación de Monte Carlo o extraídas de fuentes oficiales) y evaluaciones cualitativas (basadas en las respuestas de los expertos en la encuesta).

Herramientas y Artefactos:

1. Instrumento de recolección – Encuesta DEMATEL:

Con el propósito de capturar la percepción experta sobre las relaciones de causalidad entre criterios, se diseñó una encuesta estructurada en Google Forms siguiendo la metodología DEMATEL. La encuesta se organizó en secciones diferenciadas:

- **Sección 1 Bienvenida e Instrucciones:**

La primera sección de la encuesta estuvo orientada a contextualizar a los participantes respecto del objetivo de la investigación y del rol de sus juicios en la construcción del modelo. En esta etapa se entregó una carta de bienvenida en la que se explicó que el estudio formaba parte del trabajo de título de la estudiante Florencia Lefever, en el marco de la carrera de Ingeniería Civil Industrial de la Universidad de Valparaíso.

Se aclaró que el propósito de la encuesta era recoger percepciones expertas sobre la influencia causal entre criterios y subcriterios de decisión, con el fin de estructurar un Framework híbrido (DEMATEL–ANP) para la priorización de carteras de inversión hospitalaria en el sector público. Se hizo énfasis en la importancia de la participación de los expertos para garantizar la validez y representatividad del modelo.

Con el fin de promover la transparencia y la trazabilidad metodológica, se indicó que el tiempo estimado para responder era de 20 a 25 minutos, y que todas las respuestas serían anónimas y confidenciales, utilizadas exclusivamente con fines académicos.

Posteriormente, se entregaron las instrucciones operativas para el llenado de las matrices. Se explicó a los expertos que deberían evaluar el grado de influencia que ejerce cada elemento de la **fila** sobre cada elemento de la **columna**, conceptualizando la influencia como un “efecto dominó”. Es decir, si un criterio A se modifica o adquiere mayor importancia, ¿qué tan fuerte es el impacto que genera sobre un criterio B?

Para esta valoración se utilizó una escala discreta de cinco niveles, que quedó explícitamente detallada de la siguiente forma:

- 0: Sin influencia
- 1: Influencia baja
- 2: Influencia media
- 3: Influencia alta
- 4: Influencia muy alta

Esta escala permitió estandarizar la recolección de juicios y posteriormente construir las **matrices de influencia directa** que constituyen el insumo inicial del método DEMATEL.

- **Sección 2 Matriz de Influencia de Criterios Principales:**

La segunda sección de la encuesta estuvo destinada a identificar las relaciones causales entre los seis criterios principales de decisión:

- C1: Urgencia y Severidad del Caso
- C2: Impacto Sanitario
- C3: Cobertura y Equidad Geográfica
- C4: Costos y Eficiencia
- C5: Alineación Estratégica
- C6: Factibilidad Técnica

El instrumento fue diseñado en formato de pregunta tipo cuadrícula en Google Forms, de manera que cada criterio actuara sucesivamente como elemento de la fila (criterio que ejerce influencia) y se comparara con todos los demás criterios (elementos en las columnas, que reciben influencia).

De esta forma, los expertos debían responder a enunciados como: “¿Cuál es la influencia causal de **C1: Urgencia y Severidad** sobre los demás criterios?”

A partir de esa pregunta, el encuestado seleccionaba un valor en la escala de 0 a 4 para cada uno de los otros criterios (C2, C3, C4, C5 y C6). Posteriormente, la misma lógica se replicaba para C2, C3, C4, C5 y C6, hasta completar la matriz de influencias cruzadas.

El formato permitió construir de manera estructurada la Matriz de Influencia Directa entre Clústeres (6x6), donde cada valor aij refleja el grado de influencia ejercida por el criterio i sobre el criterio j . Por definición, la diagonal principal se fijó en cero, dado que ningún criterio influye sobre sí mismo.

- **Sección 3 Matrices de Influencia de Sub-criterios:**

La tercera sección de la encuesta replicó la misma lógica utilizada en la matriz de criterios principales, pero enfocada en el nivel de subcriterios dentro de cada clúster.

Para cada uno de los seis clústeres definidos en el modelo (C1 a C6), se presentó al experto una matriz de comparación en la que debía evaluar cuánto influía cada subcriterio sobre los demás subcriterios del mismo grupo.

El resultado fue un conjunto de matrices de influencia directa por clúster, cada una con dimensión equivalente al número de subcriterios correspondientes. En todas ellas la diagonal principal se fijó en cero, ya que ningún subcriterio puede influirse a sí mismo.

Justificación del Diseño de la Encuesta

En un inicio, se evaluó la posibilidad de solicitar a los expertos que completaran una matriz de influencia completa entre todos los subcriterios, es decir, de 18x18 elementos, lo que equivaldría a 324 preguntas individuales. Sin embargo, este enfoque resultaba poco viable, dado que habría implicado un tiempo excesivo de respuesta, aumentando la fatiga cognitiva y comprometiendo la calidad de las evaluaciones.

Por esta razón, se optó por un diseño modular, en el cual los expertos evaluaron únicamente:

- a. Las relaciones principales entre los seis criterios generales (matriz de clústeres).
- b. Las relaciones internas dentro de cada clúster, considerando exclusivamente los subcriterios de ese grupo.

De esta forma, el número de preguntas se redujo significativamente, logrando que la encuesta pudiera completarse en aproximadamente 20-25 minutos, sin perder rigurosidad metodológica. Posteriormente, gracias al enfoque híbrido DANP, es posible reconstruir la matriz completa de interdependencias de manera matemática, a partir de la información recogida en las matrices parciales.

Este diseño no solo facilitó la participación de los expertos, sino que también permitió aumentar la calidad y consistencia de los datos obtenidos, garantizando la robustez del modelo sin sobrecargar a los participantes.

Perfil de Expertos

La validez y confiabilidad de los resultados obtenidos mediante el método DEMATEL dependen en gran medida de la calidad y pertinencia del panel de expertos que participa en la recolección de juicios de valor. Con el fin de garantizar una visión integral del problema, se conformó un grupo de tres expertos seleccionados

por su experiencia complementaria en gestión hospitalaria y en la operación de servicios clínicos críticos.

El panel estuvo compuesto por:

- Un directivo hospitalario, con más de 10 años de experiencia en gestión de establecimientos de alta complejidad, aportando una visión estratégica sobre la asignación de recursos, la planificación de inversiones y la coherencia con políticas ministeriales.
- Dos jefas de servicio clínico en áreas críticas, directamente vinculadas a la gestión de listas de espera y a la supervisión operativa de recursos humanos y materiales en servicios de alta demanda. Su participación permitió integrar la perspectiva clínica y operativa en la priorización de alternativas, considerando la urgencia, el impacto sanitario y la factibilidad técnica de los proyectos.

La conformación de este panel asegura la representatividad de distintos niveles de decisión (estratégico y clínico-operativo), fortaleciendo la legitimidad de los juicios emitidos y la trazabilidad del modelo propuesto.

2. Artefacto de Datos – Base de Datos de Alternativas

La segunda herramienta central de esta fase corresponde a la base de datos de alternativas, diseñada como insumo principal del modelo. Para su construcción, se elaboró una plantilla en Excel con una estructura normalizada que facilita tanto la integración de información como la posterior implementación en el modelo en Python. La estructura contempla las siguientes columnas:

- **ID_Subcriterio:** Código único que identifica el subcriterio.
- **Criterio_Principal:** Clúster al que pertenece cada subcriterio.
- **Subcriterio:** Nombre específico del indicador evaluado.
- **Tipo:** Clasificación del subcriterio como *beneficio* (más es mejor) o *costo* (menos es mejor), elemento clave para la normalización automática en el modelo.
- **Alternativas (A1 a A4):** Valores brutos, cuantitativos o cualitativos, de cada alternativa de inversión (infraestructura, recursos humanos, equipamiento y gestión de listas de espera).
- **Unidad:** Unidad de medida original del indicador.
- **Fuente_Método:** Origen del dato o procedimiento de estimación (fuentes abiertas, literatura, simulaciones, evaluación de expertos).
- **Notas_Justificación:** Argumentación del valor asignado, explicitando supuestos, razonamientos o referencias utilizadas.

Una vez definida esta estructura, se procedió a la recopilación de información en dos niveles:

1. Datos Cuantitativos

En algunos subcriterios fue posible contar con datos directos, como en el caso de C31: población beneficiada, obtenido desde registros oficiales de FONASA.

En otros casos, como C41: costo total de inversión (CAPEX), se recopilaron datos de proyectos análogos registrados en el Banco Integrado de Proyectos (BIP) para cada tipo de alternativa. Posteriormente, los valores se procesaron mediante simulación Monte Carlo con distribución triangular, utilizando un script en Python, con el fin de estimar un valor esperado robusto junto con medidas de dispersión (desviación estándar e intervalos de confianza). Este procedimiento permitió aumentar la confiabilidad de los datos incorporados en la base.

Procedimiento de estimación de Datos Cuantitativos mediante Simulación Monte Carlo

Para aquellos subcriterios asociados a variables cuantitativas, se aplicó un procedimiento de estimación robusta basado en simulación Monte Carlo con distribución triangular, a fin de reducir la incertidumbre inherente en el uso de datos provenientes de proyectos análogos o series históricas.

El procedimiento se ejecutó en tres etapas:

a. Recolección de datos análogos

Se identificaron entre 5 y 10 proyectos comparables para cada tipo de alternativa de inversión, utilizando fuentes oficiales como el Banco Integrado de Proyectos (BIP), registros del MINSAL y reportes del DEIS.

Para cada subcriterio cuantitativo, se registraron valores representativos de experiencias previas. Por ejemplo, en el caso del subcriterio C41: costo total de inversión (CAPEX), se recopilaron montos de inversión histórica de proyectos de infraestructura hospitalaria, adquisición de equipamiento y fortalecimiento de recursos humanos.

b. Definición de parámetros de la distribución triangular

Con los valores recolectados, se establecieron tres parámetros para la distribución triangular:

- **Mínimo (Min):** valor más bajo observado en la muestra.
- **Máximo (Max):** valor más bajo observado en la muestra.
- **Más probable (Moda):** valor central estimado, calculado como el promedio o la moda de la muestra.

Estos parámetros fueron ingresados en un script de Python diseñado para ejecutar la simulación.

c. **Simulación y validación estadística**

Se realizaron 100 iteraciones de Monte Carlo, generando una distribución de escenarios posibles para cada subcriterio.

A partir de esta distribución se calcularon:

- **Valor esperado (media):** estimación puntual robusta utilizada en la base de datos.
- **Desviación estándar:** medida de la dispersión de los escenarios.
- **Intervalo de confianza del 95%:** rango en el cual es altamente probable que se ubique el valor real.
- **Percentiles 10 y 90:** estimaciones de escenarios optimista y pesimista, respectivamente.

Estos estadísticos fueron registrados como medidas de validación y utilizados para justificar la robustez del dato incorporado al modelo.

Este procedimiento permitió transformar datos inciertos o heterogéneos en valores consolidados y validados estadísticamente, garantizando mayor precisión y trazabilidad en la construcción de la base de datos. De esta manera, la simulación Monte Carlo aportó un nivel adicional de rigor metodológico, al integrar la variabilidad de datos históricos en un único valor representativo para cada alternativa y subcriterio cuantitativo.

2. **Datos Cualitativos**

Para subcriterios de carácter subjetivo, se recurrió a la evaluación por puntaje en escala de 1 a 9, representando la magnitud de impacto de cada alternativa en relación con el subcriterio.

Por ejemplo, en C23: capacidad resolutive y listas de espera, se asignaron valores más altos a las alternativas A4 (gestión de listas de espera) y A3 (equipamiento

clínico), debido a su relación directa con la reducción de tiempos de espera y la mejora en la capacidad resolutoria del hospital.

Estos puntajes fueron fundamentados mediante el análisis de las respuestas obtenidas en la encuesta a expertos, garantizando coherencia con la opinión especializada y reduciendo la subjetividad individual.

La integración de datos cuantitativos robustecidos y evaluaciones cualitativas razonadas permitió construir una base híbrida, capaz de reflejar tanto información empírica proveniente de registros oficiales como el conocimiento experto contextualizado. Este enfoque asegura que el modelo incorpore las múltiples dimensiones del problema y fortalezca la trazabilidad de las decisiones.

A partir de este procedimiento, se consolidó una base de datos estructurada que reúne, de manera integrada, los valores obtenidos para cada subcriterio en relación con las cuatro alternativas de inversión consideradas (A1: Infraestructura hospitalaria, A2: Recursos Humanos, A3: Equipamiento clínico, A4: Gestión de listas de espera). La tabla sintetiza tanto los datos cuantitativos (procesados mediante simulaciones de Monte Carlo o extraídos directamente de fuentes oficiales), como las evaluaciones cualitativas derivadas del análisis experto. Esta estructura servirá como insumo central para la fase de implementación del modelo DANP, al permitir la normalización, comparación y ponderación de los criterios en el marco del proceso multicriterio.

| Id | Subcriterio | Tipo | A1 | A2 | A3 | A4 | Unidad | Fuente/ Método |
|-----|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------------|------------------------|
| C11 | Gravedad del diagnóstico | Beneficio | 6 | 7 | 6 | 9 | Puntaje (1-9) | Evaluación Cualitativa |
| C12 | Progresión y deterioro funcional | Beneficio | 5 | 7 | 6 | 9 | Puntaje (1-9) | Evaluación Cualitativa |
| C13 | Condiciones clínicas agravantes | Beneficio | 6 | 8 | 6 | 9 | Puntaje (1-9) | Evaluación Cualitativa |
| C21 | Reducción mortalidad y AVPP | Beneficio | 106 | 58 | 83 | 128 | AVPP /año | Monte Carlo (DEIS) |
| C22 | Reducción morbilidad y eventos | Beneficio | 5.154 | 3.107 | 3.721 | 6.623 | Egresos/ año | Monte Carlo (DEIS) |
| C23 | Capacidad resolutive y LE | Beneficio | 7 | 8 | 9 | 9 | Puntaje (1-9) | Evaluación Cualitativa |
| C31 | Población beneficiada | Beneficio | 1.744.557 | 1.744.557 | 1.744.557 | 1.744.557 | Nº Personas | FONASA 2024 |
| C32 | Déficit territorial y rezago | Beneficio | 7 | 7 | 7 | 7 | Puntaje (1-9) | CASEN/ DEIS |
| C33 | Población vulnerable | Beneficio | 6,6 | 6,6 | 6,6 | 6,6 | % Vulnerable | CASEN 2022 |
| C41 | Costo total (CAPEX) | Costo | 467.943 | 128.334 | 173.982 | 61.010 | M\$ | Monte Carlo (BIP) |
| C42 | Sostenibilidad (OPEX) | Costo | 15,7 | 4,8 | 6,5 | 2,4 | % Anual Presupuesto | Monte Carlo (BIP) |
| C43 | Retorno sanitario estimado | Beneficio | 7 | 8 | 7 | 9 | Puntaje (1-9) | Evaluación Cualitativa |
| C51 | Coherencia con políticas nac. | Beneficio | 8 | 7 | 7 | 9 | Puntaje (1-9) | Análisis Documental |
| C52 | Prioridad red asistencial | Beneficio | 8 | 8 | 7 | 9 | Puntaje (1-9) | Análisis Documental |
| C61 | Disponibilidad de personal | Beneficio | 4 | 9 | 6 | 7 | Puntaje (1-9) | Evaluación Cualitativa |
| C62 | Disponibilidad de recursos físicos. | Beneficio | 9 | 4 | 8 | 6 | Puntaje (1-9) | Evaluación Cualitativa |
| C63 | Tiempo de implementación | Costo | 27 | 36 | 38 | 37 | Meses | Monte Carlo (BIP) |
| C64 | Factibilidad presupuestaria | Beneficio | 7 | 7 | 7 | 8 | Puntaje (1-9) | Evaluación Cualitativa |

Tabla5: Base de Datos utilizada para alimentar el Modelo DANP **Fuente:** Creación propia

4.4 Fase II: Implementación del Framework DANP:

Objetivo: Procesar los datos recopilados en la Fase I y estructurarlos en un modelo híbrido DEMATEL-ANP (DANP) que permita obtener un ranking final de priorización de alternativas de inversión hospitalaria.

Fundamento teórico

El método DANP combina las fortalezas de DEMATEL y ANP para superar las limitaciones de cada técnica por separado. Mientras DEMATEL permite identificar y cuantificar relaciones causales entre criterios a través de la Matriz de Influencia Total (T), el ANP aprovecha estas relaciones para construir una supermatriz ponderada que refleja las dependencias internas y externas del sistema (Rahardjo et al., 2023).

El procedimiento consiste en:

1. **Normalización de la matriz de influencia directa** para cada clúster de criterios y subcriterios.
2. **Cálculo de la Matriz de Relación Total (T)**, obtenida como:

$$T = X (I - X)^{-1}$$

Ecuación 6: Matriz de relaciones totales

donde X es la matriz normalizada de influencia directa e I la matriz identidad.

3. **Obtención de la prominencia y relación causal** de cada criterio o subcriterio:

$$D+R \text{ (importancia)} \quad D-R \text{ (rol causal o efecto)}$$

Ecuación 7: Medidas estructurales del análisis DEMATEL

4. **Integración con ANP:** las matrices T normalizadas se utilizan como base para construir la supermatriz no ponderada W, que posteriormente se pondera mediante los pesos de los clústeres y se eleva a una potencia hasta converger a la supermatriz límite, la cual refleja los pesos globales de cada subcriterio.
5. Finalmente, estos pesos se multiplican por la base de datos de alternativas (fase I), previamente normalizada, obteniendo el ranking final de priorización.

Implementación computacional

La implementación del Framework se realizó en Python, consolidado en el script modelo_danp_completo.py, empleando principalmente las librerías Numpy y Pandas. El proceso siguió cuatro bloques principales:

1. Entradas del modelo:

- Matrices de influencia directa (criterios y subcriterios), construidas a partir de los juicios de expertos.
- Base de datos de alternativas (cuantitativas y cualitativas), ya robustecida mediante Monte Carlo.

2. Motor DEMATEL:

- Normalización de matrices y cálculo de la matriz de influencia total T para criterios y subcriterios.
- Obtención de pesos de prominencia e identificación de relaciones causa-efecto.

3. Motor ANP (basado en DEMATEL):

- Construcción de la supermatriz no ponderada a partir de las matrices T de cada clúster.
- Ponderación mediante los pesos entre clústeres (W_c).
- Cálculo de los pesos globales de los subcriterios, combinando pesos locales con los del criterio padre.

4. Ranking final:

- Normalización de los datos de las alternativas considerando el tipo (beneficio y costo)
- Cálculo del puntaje de cada alternativa mediante producto matricial:

$$\text{Puntaje_Final} = A_{norm} * W_{sub}$$

Ecuación 8: Cálculo del puntaje final de cada alternativa

- Obtención del ranking de alternativas de inversión ordenado de mayor a menor prioridad.

Resultado esperado

La fase culmina con un ranking consolidado de las cuatro alternativas de inversión hospitalaria (A1: Infraestructura, A2: Recursos Humanos, A3: Equipamiento clínico, A4: Gestión de listas de espera). Este ranking refleja una integración equilibrada entre juicios expertos, datos empíricos y relaciones causales entre criterios, asegurando un proceso de priorización transparente, replicable y técnicamente fundamentado.

4.5 Fase III: Validación y Análisis de Sensibilidad Automatizado

Objetivo:

El propósito de esta fase es evaluar la robustez y estabilidad del ranking obtenido en la Fase II. Se busca determinar hasta qué punto cambios en la importancia relativa de ciertos criterios afectan el resultado final, identificando así las variables más críticas del modelo y evaluando la consistencia de la priorización.

Fundamento Metodológico:

Para implementar esta fase se utiliza el enfoque propuesto por (Rahardjo et al., 2023), que combina la lógica causal de DEMATEL con la estructura del ANP. La validación se centra en el concepto de Prominencia ($D+R$), que corresponde a la suma de la influencia ejercida

(D) y la influencia recibida (R) de cada criterio dentro del sistema. Los criterios con mayor prominencia se consideran críticos, pues concentran la mayor interdependencia y, por tanto, tienen un impacto más fuerte en la estructura de priorización.

Herramienta Computacional:

La validación se automatizó mediante un script en Python (`analisis_sensibilidad_danp.py`), que utiliza las librerías Numpy, Pandas y Matplotlib. Este script se integró directamente con el modelo DANP de la Fase II y permitió ejecutar simulaciones bajo distintos escenarios.

Proceso:

- **Identificación de Criterios Críticos:** Se calculó la prominencia (D+R) de cada criterio a partir de la matriz total de influencias (T). Con este valor, el script seleccionó automáticamente los tres criterios más interconectados como candidatos para el análisis de sensibilidad.
- **Simulación de Variabilidad:** Para cada criterio crítico, se simuló un rango de variación en su influencia causal entre -20% y $+20\%$, en incrementos de 10% . Esto refleja posibles cambios en la percepción de los expertos o en las condiciones reales del hospital.
- **Reejecución del Modelo:** En cada escenario simulado, se recalculó la matriz de influencia, los pesos globales de los subcriterios y el ranking final de alternativas. Esto permitió observar la sensibilidad del modelo frente a la variabilidad.
- **Visualización de Resultados:** Los puntajes de cada alternativa se graficaron en función del nivel de variación aplicado a los criterios críticos. Los gráficos generados facilitan identificar qué tan estable se mantiene el ranking y qué alternativas presentan mayor vulnerabilidad a cambios en los pesos.

Resultados esperados

Este procedimiento permite:

1. Validar la consistencia global del ranking final obtenido.
2. Identificar las alternativas más estables frente a cambios en las condiciones del modelo.
3. Reconocer criterios críticos que requieren mayor precisión en la estimación o mayor discusión en procesos participativos.

5. Resultados

5.1 Resultado del Análisis Estructural DEMATEL

A partir de las matrices de influencia obtenidas mediante la aplicación del método DEMATEL, se calcularon los indicadores de prominencia (D+R) y relación causal (D-R) para los seis criterios principales del modelo. La prominencia corresponde a la suma de las influencias ejercidas y recibidas por cada criterio, reflejando su importancia total en el sistema. Por su parte, la relación causal neta se obtiene de la diferencia entre las influencias ejercidas (D) y recibidas (R), indicando si un criterio se comporta principalmente como emisor o receptor de influencia dentro del sistema.

Los valores obtenidos para cada criterio se presentan en la siguiente tabla:

| Criterio | Prominencia | Relación causal | Clasificación |
|-----------------|--------------------|------------------------|----------------------|
| C1 | 0,189 | 0,875 | Influyente/ Causa |
| C2 | 0,185 | 0,616 | Influyente/ Causa |
| C3 | 0,133 | -1,518 | Influenciado/ Efecto |
| C4 | 0,163 | -0,278 | Influenciado/ Efecto |
| C5 | 0,178 | -1,204 | Influenciado/ Efecto |
| C6 | 0,154 | 1,509 | Influyente/ Causa |

Tabla6: Resultados de prominencia y relación causal de los criterios principales **Fuente:** Creación propia.

A partir de los resultados presentados en la Tabla 6, se construyó el mapa causal de criterios mostrado en la Figura 2.

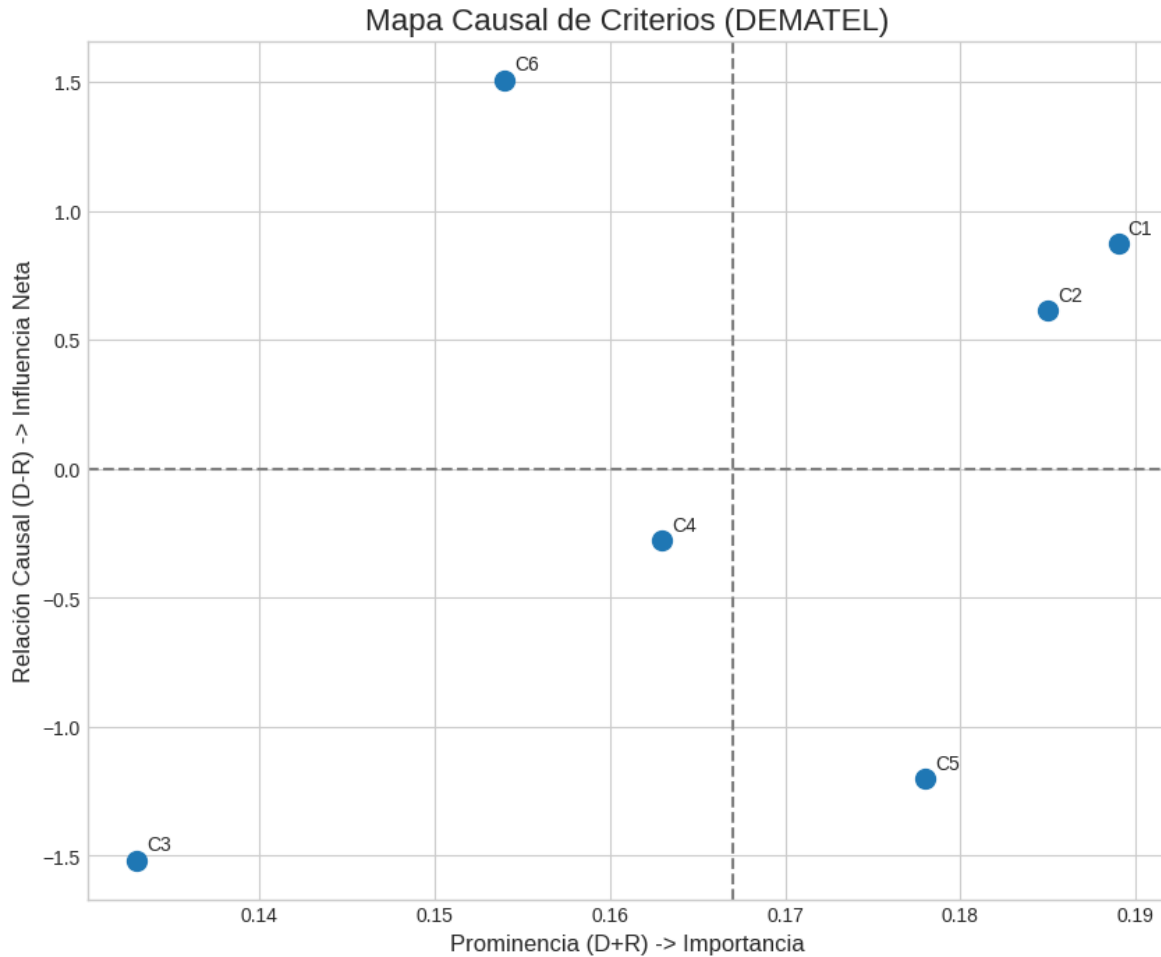


Figura 2: Mapa causal de los criterios principales según el método DEMATEL **Fuente:** Creación propia en Python.

En el gráfico visualizado en la Figura 2, el eje horizontal representa la prominencia (D+R), es decir, la importancia total de cada criterio dentro del sistema, mientras que el eje vertical corresponde a la relación causal (D-R), que diferencia entre criterios influyentes (valores positivos) e influenciados (valores negativos). De este modo, los criterios C1, C2 y C6 se posicionan como variables influyentes, mientras que C3, C4 y C5 aparecen como variables influenciadas.

5.2 Resultados de la Estimación Robusta de Datos (Monte Carlo)

Con el objetivo de reducir la incertidumbre asociada a ciertos subcriterios cuantitativos, se aplicó un proceso de simulación Monte Carlo a partir de datos históricos y registros disponibles. Esta técnica permitió obtener distribuciones probabilísticas de las variables

críticas y, a partir de ellas, derivar valores esperados, desviaciones estándar y intervalos de confianza al 95%.

| Subcriterio | Variable estimada | Valor esperado | Desviación estándar | Intervalo de confianza |
|--------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------------|
| C21 | AVPP /año | 375,52485 | 29,64252 | 95% |
| C22 | Egresos/año | 18.605,48831 | 2.743,65464 | 95% |
| C41 | CAPEX A1 | 467.943,25548 | 77763.52297 | 95% |
| C41 | CAPEX A2 | 128.334,0716 | 6.826,52862 | 95% |
| C41 | CAPEX A3 | 173.982,40974 | 39.132,95783 | 95% |
| C41 | CAPEX A4 | 61.009,61219 | 15.533,67989 | 95% |
| C42 | OPEX A1 | 15,6685 | 4,454 | 95% |
| C42 | OPEX A2 | 4,87166 | 0,31854 | 95% |
| C42 | OPEX A3 | 6,50482 | 1,97226 | 95% |
| C42 | OPEX A4 | 2,40645 | 0,58351 | 95% |
| C63 | Tiempo implementación A1 | 27,35763 | 10,66904 | 95% |
| C63 | Tiempo implementación A2 | 35,63514 | 4,60191 | 95% |
| C63 | Tiempo implementación A3 | 38,12247 | 11,66907 | 95% |
| C63 | Tiempo implementación A4 | 37,34776 | 7,48907 | 95% |

Tabla7: Resultados obtenidos en la estimación de Monte Carlo **Fuente:** Creación propia.

Los resultados obtenidos a partir de la estimación robusta mediante simulación Monte Carlo se presentan en la Tabla 7. En el caso de los subcriterios C21 (Años de Vida Potencialmente Perdidos, AVPP) y C22 (egresos hospitalarios anuales), la estimación se realizó a un nivel global, dado que no fue posible diferenciar los datos según alternativa de inversión. Para ambos indicadores se calcularon valores promedio representativos de las series históricas, obteniendo un valor esperado de aproximadamente 375.525 AVPP/año en el caso de C21 y 18.605 egresos/año en el caso de C22, ambos con desviaciones estándar moderadas y márgenes de confianza del 95%.

En contraste, los subcriterios relacionados con Costos y Eficiencia (C41, C42) y Factibilidad Técnica (C63) fueron estimados de manera diferenciada por alternativa de inversión, lo que permitió reflejar las variaciones específicas de cada escenario. Para C41 (CAPEX), se observan diferencias relevantes entre alternativas, con valores esperados que varían desde

467.943 (A1) hasta 61.010 (A4). En C42 (OPEX), las alternativas también presentan contrastes marcados, destacando el mayor costo operativo en A1 (15,67) frente al menor en A4 (2,40). Finalmente, en el subcriterio C63 (tiempo de implementación) se identifican plazos variables según alternativa, con valores esperados que fluctúan entre 27,3 meses (A1) y 38,1 meses (A3).

En conjunto, estos resultados permiten disponer de valores esperados acompañados de medidas de dispersión e intervalos de confianza, asegurando que las comparaciones entre alternativas se basen en estimaciones estadísticamente consistentes.

5.3 Ranking de Prioridad de las Carteras de Inversión (Resultados DANP)

A partir de la integración de los pesos globales de los subcriterios obtenidos mediante el modelo DANP que se pueden visualizar en la tabla 8 y de la base de datos normalizada de alternativas, se calculó el puntaje final de cada una de las carteras de inversión consideradas en el estudio. Este procedimiento permitió consolidar, en un único índice comparativo, tanto la estructura causal identificada con DEMATEL como la evaluación multicriterio derivada del ANP.

| Subcriterio | Pesos Globales |
|-------------|----------------|
| C11 | 0.065203 |
| C12 | 0,065203 |
| C13 | 0,058390 |
| C21 | 0,062681 |
| C22 | 0,062681 |
| C23 | 0,059382 |
| C31 | 0,042613 |
| C32 | 0,044980 |
| C33 | 0,044980 |
| C41 | 0,051465 |
| C42 | 0,054520 |
| C43 | 0,056870 |
| C51 | 0,088751 |
| C52 | 0,088751 |
| C61 | 0,038528 |
| C62 | 0,042366 |
| C63 | 0,034072 |
| C64 | 0,038567 |

Tabla8: Pesos globales normalizados por cada Subcriterio **Fuente:** Creación propia

La Tabla 8 presenta el ranking final de priorización, en el cual las alternativas se ordenan de mayor a menor puntaje, reflejando su contribución relativa a los objetivos estratégicos del hospital bajo los criterios evaluados.

| Alternativas | Puntajes |
|---------------------|-----------------|
| A4_Gestion_LE | 0.312585 |
| A2_RRHH | 0.236837 |
| A3_Equipamiento | 0.226107 |
| A1_Infraestructura | 0.224471 |

Tabla9: Ranking Final de priorización de las alternativas de inversión obtenidas del Modelo DANP **Fuente:** Creación propia.

En la Tabla 9 se pueden apreciar los rankings de prioridad de las cuatro alternativas de inversión consideradas en el caso de estudio, la alternativa A4: Gestión de listas de espera alcanzó el mayor puntaje final (0,313), posicionándose como la opción de mayor prioridad dentro del hospital analizado. En segundo lugar, se ubicó la alternativa A2: Recursos Humanos con un puntaje de 0,237, seguida muy de cerca por A3: Equipamiento clínico e insumos (0,226) y A1: Infraestructura hospitalaria (0,224).

5.4 Resultados del Análisis de Sensibilidad

En esta sección se presenta el análisis de sensibilidad aplicado a los criterios críticos identificados por el modelo DEMATEL, los cuales corresponden a C5: Alineación Estratégica, C2: Impacto Sanitario y C1: Urgencia y Severidad. El objetivo de este procedimiento es evaluar la estabilidad del ranking final de alternativas frente a variaciones en la influencia relativa de estos criterios. Para ello, se simuló escenarios de ajuste en un rango de $\pm 20\%$ respecto a sus valores originales, analizando cómo dichos cambios afectan los puntajes de las alternativas de inversión.

Análisis de Sensibilidad para el Criterio 5 (Alineación Estratégica)

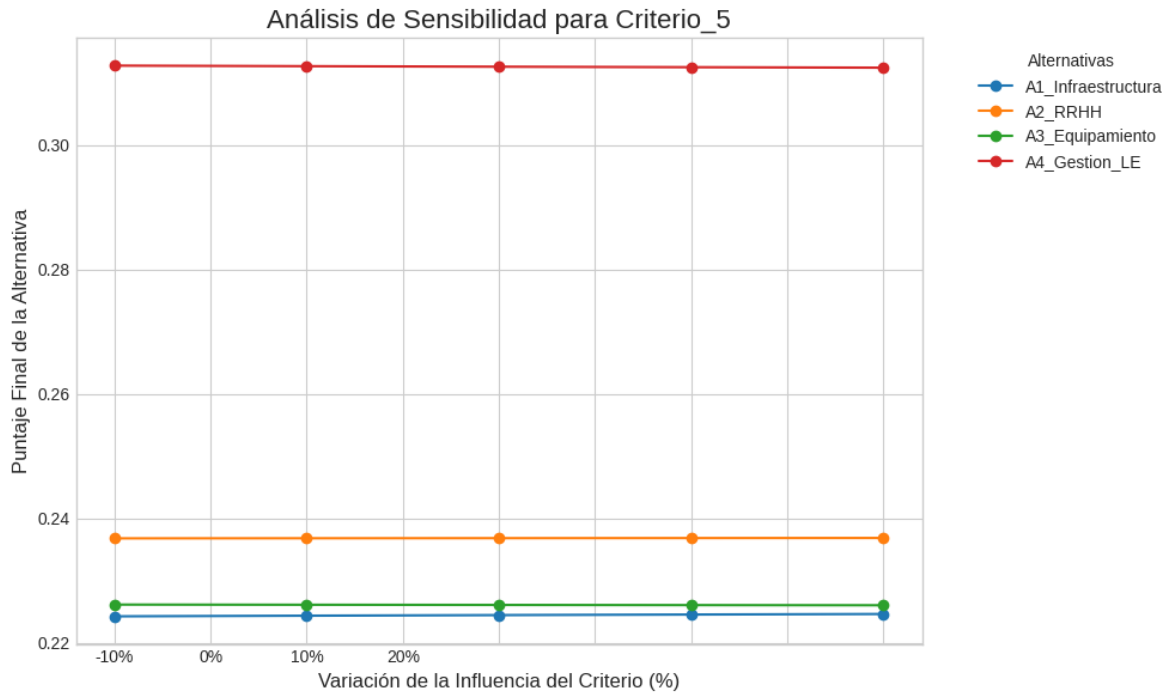


Figura 3: Grafico de Análisis de Sensibilidad para el criterio 5 **Fuente:** Creación propia en Python.

En la Figura 3 se puede visualizar un gráfico que muestra los resultados del análisis de sensibilidad para el Criterio 5, que representa la "Alineación Estratégica". Este análisis examina cómo cambia el puntaje final de cada alternativa (A1 a A4) cuando la influencia percibida del Criterio 5 varía.

En el eje horizontal se representa la variación porcentual aplicada a la influencia del Criterio 5 en la matriz inicial de influencia directa (matriz_influencia_criterios), abarcando un rango del -20% al +20%. En el eje vertical se muestra el puntaje final calculado para cada alternativa después de re-ejecutar el modelo DANP con la influencia modificada del Criterio 5.

Cada línea de color representa una de las alternativas:

- A1 (Infraestructura)
- A2 (RRHH)
- A3 (Equipamiento)
- A4 (Gestión LE)

Observando el gráfico, podemos ver que, para el rango de variación del -20% al +20% en la influencia del Criterio 5, las líneas de las alternativas se mantienen relativamente planas y

paralelas. Esto indica que el ranking de las alternativas y sus puntajes finales son **insensibles** a los cambios en la influencia de este criterio dentro del rango analizado.

En otras palabras, incluso si la percepción de la influencia del Criterio 5 aumenta o disminuye hasta en un 20%, la priorización de las alternativas (donde A4 sigue siendo la mejor, seguida por A2, A3 y A1) no cambia significativamente.

Análisis de Sensibilidad para el Criterio 2 (Impacto Sanitario)

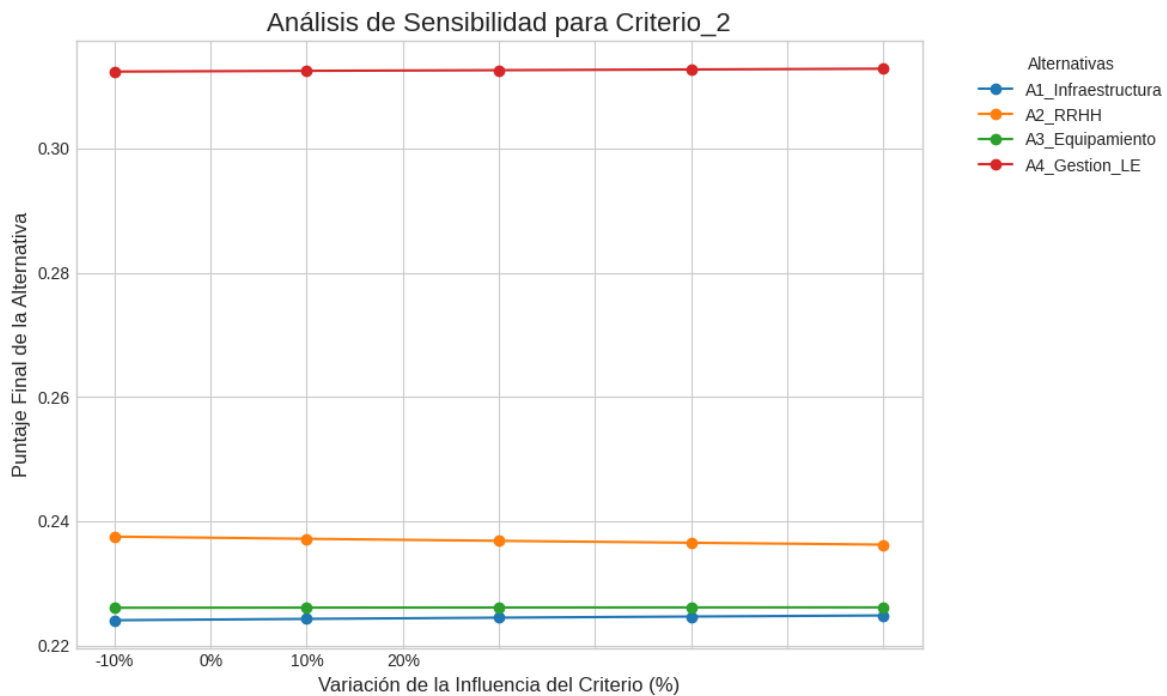


Figura 4: Grafico de Análisis de Sensibilidad para el criterio 2 **Fuente:** Creación propia en Python.

El gráfico de análisis de sensibilidad para el Criterio 2 ("Impacto Sanitario") representado en la Figura 4, muestra cómo los puntajes finales de las alternativas (A1, A2, A3, A4) responden a variaciones en la influencia de este criterio, en un rango de -20% a +20%.

Al igual que con el Criterio 5, las líneas que representan los puntajes de las alternativas se mantienen notablemente estables y paralelas a lo largo del rango de variación. Esto significa que, para cambios de hasta el 20% (positivos o negativos) en la influencia del Criterio 2 sobre los demás criterios, el puntaje final de cada alternativa y, por ende, el ranking de priorización, no experimentan cambios significativos.

La alternativa A4 ("Gestión LE") consistentemente mantiene el puntaje más alto, seguida por A2 ("RRHH"), A3 ("Equipamiento") y A1 ("Infraestructura"), independientemente de la variación en la influencia del Criterio 2.

Análisis de Sensibilidad para el Criterio 1 (Urgencia)

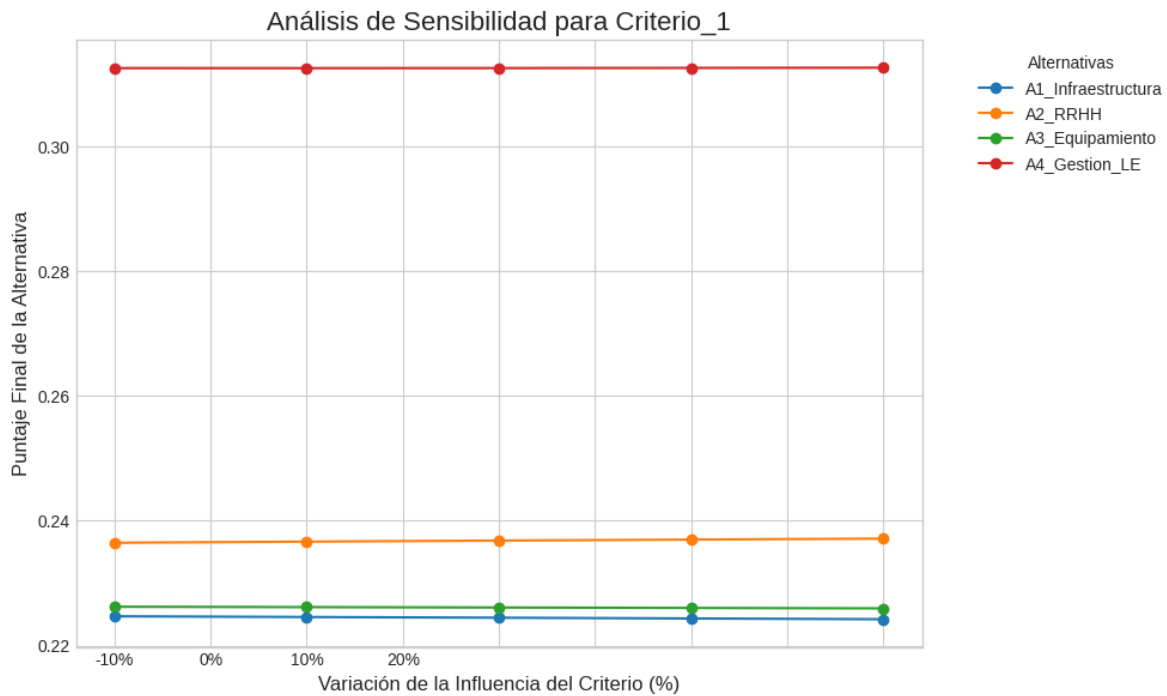


Figura 5: Gráfico de Análisis de Sensibilidad para el criterio 1 **Fuente:** Creación propia en Python.

El gráfico de análisis de sensibilidad para el Criterio 1 ("Urgencia") ilustra el comportamiento de los puntajes finales de las alternativas (A1, A2, A3, A4) cuando la influencia de este criterio varía entre -20% y +20%.

De manera similar a los análisis anteriores (Criterios 5 y 2), las líneas en este gráfico también muestran una gran estabilidad. Los puntajes finales de las cuatro alternativas se mantienen casi constantes a medida que varía la influencia del Criterio 1. La distancia relativa entre las líneas permanece prácticamente inalterada, lo que significa que el ranking de las alternativas no cambia.

6. Discusión

6.1 Interpretación del Ranking de Prioridades

El ranking final obtenido a partir del Framework híbrido DEMATEL–ANP refleja la priorización relativa de las cuatro alternativas de inversión definidas para el Hospital de Alta Complejidad. Los resultados muestran la siguiente jerarquía:

1. **A4 – Gestión de Listas de Espera (0,3126)**
2. **A2 – Recursos Humanos (0,2368)**
3. **A3 – Equipamiento e Insumos Clínicos (0,2261)**
4. **A1 – Infraestructura Hospitalaria (0,2245)**

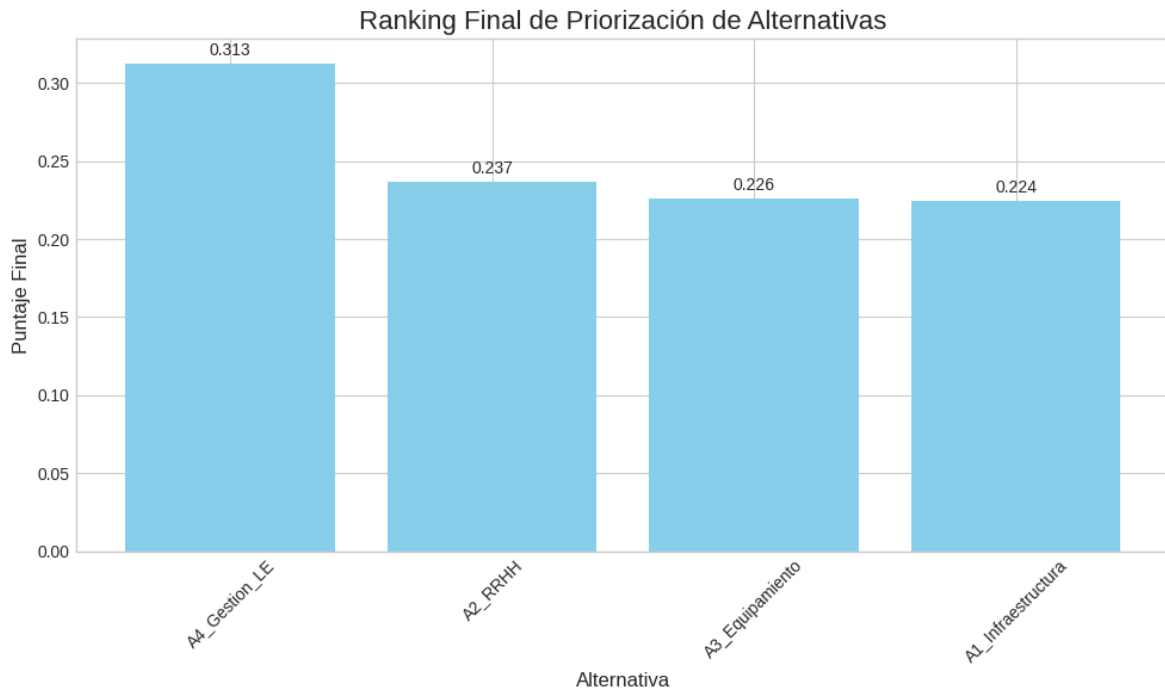


Figura 6: Grafico de barra para visualizar el Ranking Final de cada alternativa **Fuente:** Creación propia en Python.

El análisis permite destacar varios aspectos relevantes:

- Predominio de la Gestión de Listas de Espera (A4). Esta alternativa concentra la mayor puntuación, distanciándose de manera significativa de las demás. La posición de A4 se explica por su fuerte vinculación con los criterios de urgencia y severidad (C1) e impacto sanitario (C2), que resultaron ser de los más influyentes en la estructura causal. En un hospital con una de las listas de espera más críticas del país,

la priorización de esta alternativa se alinea con la necesidad inmediata de reducir los tiempos de atención y mejorar la capacidad resolutoria.

- **Importancia de los Recursos Humanos (A2).** La segunda alternativa prioritaria corresponde a la dotación y fortalecimiento del capital humano especializado. Este resultado refleja la centralidad del déficit de profesionales críticos (anestesiólogos, intensivistas, oncólogos, entre otros), identificado en la caracterización del caso de estudio. Aunque su puntaje es menor al de A4, se configura como un complemento indispensable para garantizar la efectividad de cualquier otra inversión.
- **Equipamiento e Infraestructura como prioridades secundarias.** Las alternativas A3 (equipamiento clínico) y A1 (infraestructura hospitalaria) presentan puntajes cercanos entre sí, configurando un bloque de menor relevancia relativa. Este resultado no implica que carezcan de importancia, sino que, en el corto plazo, su impacto sería menos inmediato frente a las urgencias del hospital. La proximidad de sus valores sugiere que la decisión entre priorizar equipamiento o infraestructura podría depender de factores externos al modelo, como la disponibilidad presupuestaria específica o lineamientos ministeriales.

En síntesis, el modelo resalta la necesidad de orientar los recursos primero hacia la gestión de listas de espera y el fortalecimiento del recurso humano, elementos que inciden directamente en la reducción de brechas asistenciales y en la mejora del acceso oportuno a la atención. La modernización de equipamiento e infraestructura, si bien relevantes, se configuran como inversiones de carácter más estratégico y con efectos de mediano y largo plazo.

6.2 Análisis de las Relaciones Causales y sus Implicancias para la Gestión

El análisis causal obtenido a través de DEMATEL muestra que los criterios C6 (Factibilidad Técnica), C1 (Urgencia) y C2 (Impacto Sanitario) actúan como los principales drivers del sistema, mientras que C3 (Cobertura y Equidad), C5 (Alineación Estratégica) y C4 (Costos y Eficiencia) se comportan como receivers o criterios mayormente influenciados.

Desde el punto de vista de la gestión hospitalaria, estas relaciones tienen implicaciones clave:

- **Enfoque en criterios drivers para generar cambios sistémicos:** fortalecer la factibilidad técnica (C6), mejorar la capacidad de respuesta ante situaciones urgentes (C1) y asegurar un mayor impacto sanitario (C2) permite desencadenar mejoras indirectas en los criterios más dependientes, como la cobertura o la alineación estratégica. Esto orienta a los gestores a priorizar intervenciones en estas áreas como palancas de transformación.

- **Reconocimiento de criterios dependientes como indicadores de resultado:** los criterios con valores negativos de D-R, especialmente cobertura y equidad (C3), deben entenderse más como **efectos visibles** del desempeño del sistema que como factores de acción directa. Por lo tanto, su mejora dependerá de políticas que actúen previamente sobre urgencia, impacto y factibilidad.
- **Planificación estratégica más coherente:** al identificar qué criterios son estructuralmente influyentes y cuáles son receptores, se facilita una asignación de recursos más eficiente. Por ejemplo, invertir en infraestructura sin atender previamente la factibilidad técnica podría no generar los resultados esperados, ya que C6 condiciona fuertemente al resto.

En términos prácticos, la implicancia es que la gestión hospitalaria debería concentrarse primero en consolidar la **base técnica y operativa del sistema (C6)**, garantizar la **resolución de casos urgentes (C1)** y maximizar el **impacto sanitario (C2)**. Con estos elementos bien gestionados, se producirán efectos positivos en cobertura, alineación estratégica y eficiencia, consolidando un modelo más robusto y sostenible.

6.3 Aportes del Framework, Contraste con la Literatura y Limitaciones

Los resultados de la investigación permiten identificar varios aportes metodológicos y prácticos del Framework híbrido DANP, así como contrastarlos con la evidencia disponible en la literatura, y finalmente reconocer las limitaciones del modelo.

Aportes principales del Framework Híbrido propuesto

1. **Estructuración empírica de la red de criterios:** El uso de DEMATEL como etapa previa permitió construir una matriz de relaciones (influencia directa y total) basada en juicios expertos agregados, reduciendo la arbitrariedad en la identificación de dependencias entre criterios y subcriterios. Esa estructura empírica facilita una supermatriz ANP más fundada en datos de percepción consensuada que en supuestos ad-hoc.
2. **Integración de tres tipos de datos (enfoque híbrido):** El modelo incorpora: (i) datos cuantitativos extraídos de fuentes abiertas, (ii) datos cuantitativos derivados de la normalización de juicios cualitativos, y (iii) juicios directos de expertos. Esta combinación mejora la representatividad del modelo frente a enfoques puramente cualitativos o numéricos y permite una mayor trazabilidad de las decisiones.
3. **Robustez estadística en entradas críticas:** La estimación de variables clave mediante Monte Carlo (triangular) proporcionó valores esperados, desviaciones estándar e intervalos de confianza para insumos que, de otro modo, serían altamente

inciertos. Esto aporta una capa estadística que fortalece la validez interna del modelo y facilita argumentos técnicos frente a tomadores de decisión.

4. **Reducción de carga cognitiva para expertos:** Al pedir matrices parciales (matriz de clústeres + matrices por clúster) en lugar de una matriz completa 18×18, la encuesta fue más corta y menos fatigosa para los expertos, sin perder la capacidad de reconstruir la red completa mediante el procedimiento DANP. Esto mejora la calidad de las respuestas y la factibilidad práctica del método.
5. **Automatización y trazabilidad computacional:** La implementación en Python (módulos DEMATEL, ANP, cálculo de pesos, ranking de alternativas y análisis de sensibilidad automatizado) permite replicabilidad, auditoría y actualización sencilla del modelo cuando se incorporen nuevos datos o se revise el panel de expertos.
6. **Valor práctico para gestión hospitalaria:** Aplicado al caso del Hospital de Alta Complejidad, el Framework entrega un ranking accionable, detecta criterios “drivers” y “receivers” y orienta dónde enfocar recursos para lograr efectos sistémicos (por ejemplo, priorizar factibilidad técnica y gestión de listas de espera). Esto lo hace útil para planificación presupuestaria y priorización estratégica en entornos públicos con restricciones.

Contraste con la Literatura

El hallazgo de que gestión de listas de espera constituye la alternativa prioritaria dentro del modelo DANP coincide con la evidencia nacional reportada por (Silva-Aravena et al., 2022), quienes demostraron que la priorización basada en criterios clínicos y tiempos de espera puede reducir significativamente eventos adversos y mejorar la eficiencia hospitalaria. No obstante, nuestro modelo avanza al demostrar que esta alternativa se mantiene prioritaria incluso tras incorporar relaciones de interdependencia entre criterios y aplicar análisis de sensibilidad con simulaciones de Monte Carlo, lo que aporta un nivel de robustez metodológica que no había sido considerado previamente en los estudios nacionales.

Asimismo, la posición destacada de recursos humanos como segunda alternativa prioritaria guarda coherencia con los hallazgos de (Zamorano et al., 2023), quienes identificaron la disponibilidad de personal clínico como un determinante clave en la continuidad de la atención en pacientes con multimorbilidad. Sin embargo, a diferencia de estos modelos ad-hoc, nuestro Framework integra explícitamente la interacción de este criterio con otros factores estratégicos, mostrando cómo la disponibilidad de especialistas no solo impacta en la cobertura, sino también en la factibilidad técnica de implementar nuevas infraestructuras.

En cuanto al análisis de las relaciones causales mostró que los principales drivers del sistema son Factibilidad Técnica (C6), Urgencia y Severidad (C1) e Impacto Sanitario (C2). Este

resultado es consistente con estudios internacionales que han destacado la relevancia de los factores clínicos y operativos en la toma de decisiones. Por ejemplo, en Brasil, (Frazão et al., 2021) identificaron la urgencia y el riesgo clínico como motores clave en la priorización de emergencias médicas, mientras que en Noruega, (Islam et al., 2021) destacaron la continuidad del cuidado y el impacto sanitario como criterios determinantes en planes de atención integrada. El presente estudio avanza en esta línea al demostrar cómo la factibilidad técnica se constituye como el driver más influyente, un aspecto que ha sido señalado en la literatura (Ortíz et al., 2015) pero poco explorado en relación directa con criterios clínicos.

En cuanto a los criterios receptores, los resultados indican que Cobertura y Equidad (C3) y Alineación Estratégica (C5) reciben mayor influencia del sistema. Este hallazgo complementa lo planteado por (Espinoza et al., 2023), quienes señalan que en Chile la inequidad territorial es más una consecuencia de decisiones políticas y técnicas que un criterio determinante por sí mismo. De esta forma, el modelo confirma empíricamente que para mejorar la equidad no basta con priorizar cobertura directamente, sino que es necesario intervenir sobre drivers clínicos y técnicos.

Respecto a los criterios económicos, los resultados muestran que Costos y Eficiencia (C4) se comporta como criterio de efecto (relación causal negativa), lo que contrasta con estudios como (Juričić et al., 2020; Wilson et al., 2022), donde los costos son presentados como motor central en decisiones de inversión pública y sanitaria. En el contexto chileno, sin embargo, los costos aparecen como una variable dependiente, moldeada por la urgencia clínica y el impacto sanitario. Este aporte es relevante, ya que demuestra que la presión social y sanitaria condiciona primero la decisión, y los costos se ajustan después, lo que aporta un matiz diferenciado respecto a la literatura internacional.

Finalmente, el análisis de sensibilidad automatizado mostró la robustez del ranking, incluso bajo variaciones significativas en criterios críticos como C1, C2 y C5. Este resultado confirma lo señalado por (Cinelli et al., 2022), quienes destacan la importancia de la validación y sensibilidad en modelos MCDA, y aporta evidencia empírica al demostrar que un Framework híbrido puede mantener estabilidad decisional en contextos de alta incertidumbre.

Limitaciones del Estudio

A pesar de los aportes señalados, el modelo presenta limitaciones que deben ser reconocidas:

1. **Marco normativo no considerado:** El modelo no incorpora leyes específicas que condicionan las decisiones hospitalarias en Chile, como la Ley Prais, el régimen GES o la normativa de protección de la infancia. Estos marcos legales pueden alterar la priorización en casos concretos, generando resultados distintos a los del modelo. Por

ejemplo, ciertos diagnósticos en pediatría pueden recibir prioridad automática por normativa, independientemente de su evaluación multicriterio.

2. **Calidad de los datos abiertos:** Si bien se usaron fuentes oficiales (DEIS, MINSAL, FONASA), muchas bases presentan vacíos, registros incompletos o periodos limitados, lo que reduce la confiabilidad de algunos subcriterios.
3. **Disponibilidad de datos exactos a nivel hospitalario:** El modelo utilizó estimaciones y simulaciones para representar variables como costos o recursos humanos. Para su implementación real en un hospital, sería necesario contar con datos precisos de cada proyecto, lo que aumentaría la validez de los resultados.
4. **Número reducido de expertos:** La red causal se construyó con un panel de tres expertos. Si bien fueron seleccionados por su experiencia complementaria, un panel más amplio y diverso podría fortalecer la representatividad de los juicios y reducir sesgos.
5. **Complejidad en la implementación práctica:** Aunque el Framework se implementó computacionalmente en Python con dashboards, su adopción institucional requiere capacidades técnicas, compromiso político y procesos participativos que van más allá del modelo académico.
6. **Limitaciones propias del enfoque DANP/DEMATEL:** DEMATEL cuantifica percepciones de influencia, no causalidad empírica estricta; ANP asume que comparaciones pareadas son consistentes y representativas. Ambos métodos son sensibles a inconsistencias y a la escala de juicio.

6.4 Implicancias para la Gestión Hospitalaria en Chile

Los resultados obtenidos a partir de la aplicación del Framework híbrido DEMATEL-ANP en un Hospital de Alta Complejidad, permiten extraer implicancias relevantes para la gestión hospitalaria en Chile, especialmente en un contexto caracterizado por restricciones presupuestarias, demandas crecientes y presión social por mejorar la equidad en salud.

En primer lugar, el ranking de alternativas posiciona la Gestión de Listas de Espera (A4) y los Recursos Humanos (A2) como prioridades estratégicas. Esto revela que, más allá de la infraestructura física, la capacidad de gestión de la demanda y la disponibilidad de especialistas constituyen cuellos de botella críticos en la atención hospitalaria. Para la política pública, esto implica que las inversiones orientadas a reducir las demoras y reforzar el capital humano pueden generar un impacto sistémico más inmediato que las obras de infraestructura, cuyos beneficios se expresan en plazos más largos.

En segundo lugar, el análisis de relaciones causales (D-R) identificó como criterios “drivers” la Factibilidad Técnica (C6), la Urgencia y Severidad (C1) y el Impacto Sanitario (C2). Esto

sugiere que los hospitales deben focalizar sus esfuerzos de gestión en fortalecer la disponibilidad de recursos técnicos y humanos, junto con la capacidad de respuesta a condiciones críticas de salud. En la práctica, la gestión hospitalaria debería integrar mecanismos de planificación que anticipen la factibilidad operativa antes de comprometer inversiones, para evitar proyectos que, aun siendo relevantes, no puedan ejecutarse de manera oportuna.

En tercer lugar, la incorporación de datos abiertos y simulaciones robustas (Monte Carlo) demostró que es posible complementar la limitada información hospitalaria con técnicas estadísticas que mejoran la calidad de los insumos de decisión. Esto se alinea con las tendencias de gobierno abierto en salud y fortalece la transparencia de los procesos de priorización. La implicancia para la gestión es doble: por un lado, se fomenta un uso más intensivo de la información pública disponible; y por otro, se visibiliza la necesidad de mejorar la calidad, completitud y estandarización de los registros oficiales para apoyar la toma de decisiones basadas en evidencia.

En cuarto lugar, el análisis de sensibilidad mostró que el ranking se ve más afectado por variaciones en criterios como Alineación Estratégica (C5), Impacto Sanitario (C2) y Urgencia (C1), identificados como críticos para la estabilidad de las decisiones. Esto implica que la gestión hospitalaria no solo debe priorizar proyectos en función de sus beneficios esperados, sino también fortalecer la coherencia con las políticas de red asistencial y la pertinencia clínica, ya que variaciones en estas dimensiones pueden modificar sustancialmente las decisiones finales.

Finalmente, las implicancias del modelo trascienden el caso particular de un Hospital de Alta Complejidad. La experiencia sugiere que la aplicación de metodologías multicriterio como DANP puede contribuir a mejorar los procesos de priorización de inversiones en toda la red hospitalaria chilena, siempre que se integren en un marco institucional que considere las restricciones legales (GES, PRAIS, protección de la infancia), las brechas de datos y la necesidad de involucrar a múltiples actores.

En síntesis, el presente trabajo aporta evidencia de que la gestión hospitalaria en Chile puede beneficiarse de enfoques híbridos basados en MCDA, los cuales permiten equilibrar criterios clínicos, estratégicos, económicos y de factibilidad en un marco transparente y participativo. Esto constituye un paso hacia una planificación más eficiente, equitativa y alineada con los desafíos del sistema público de salud.

7. Conclusiones y Líneas Futuras

7.1 Síntesis y Conclusiones Principales

La presente investigación tuvo como propósito responder a la pregunta de investigación: “¿De qué manera un Framework híbrido DANP, robustecido con simulaciones Monte Carlo, permite generar un ranking de prioridades de inversión que sea estructuralmente justificado empíricamente, robusto y estable ante la incertidumbre?”

Los resultados obtenidos permiten concluir afirmativamente. La implementación del Framework híbrido DANP demostró ser capaz de integrar tanto la dimensión cuantitativa, representada por datos oficiales y estimaciones robustas mediante simulación de Monte Carlo, como la dimensión cualitativa, derivada de los juicios de expertos validados en el proceso de encuestas.

El modelo entregó un ranking claro de prioridades de inversión, posicionando la gestión de listas de espera (A4) como la alternativa prioritaria, seguida de recursos humanos (A2), mientras que equipamiento (A3) e infraestructura (A1) ocuparon posiciones más bajas. Esto refleja que, frente a un sistema altamente tensionado, las acciones orientadas a mejorar procesos y gestión pueden generar un impacto inmediato y más efectivo que las inversiones de gran escala.

Asimismo, el análisis estructural (DEMATEL) permitió identificar criterios impulsores como la factibilidad técnica, la urgencia y el impacto sanitario, evidenciando su rol central en la red de dependencias. Por otro lado, criterios como cobertura y equidad o alineación estratégica aparecieron como receptores, lo que sugiere que sus mejoras dependen de intervenciones previas en los criterios impulsores.

En síntesis, el modelo demostró ser técnicamente sólido, adaptable y con potencial de replicabilidad, constituyéndose en un aporte metodológico relevante para la planificación estratégica hospitalaria en Chile.

7.2 Logro de los Objetivos y Recomendaciones

El trabajo cumplió con los objetivos planteados:

1. **Diseñar e implementar un Framework híbrido (DANP):** Se logró estructurar un modelo coherente, validado con expertos y basado en datos abiertos, que integra causalidad y ponderación multicriterio.

2. **Construir una base de datos híbrida:** Se consolidaron indicadores cuantitativos (DEIS, BIP, FONASA, CASEN) y cualitativos (juicios expertos), robustecidos mediante simulaciones de Monte Carlo.
3. **Obtener un ranking de prioridades de inversión:** El modelo entregó un ranking objetivo que posiciona la gestión de listas de espera como la alternativa prioritaria.
4. **Validar la estabilidad de los resultados:** Mediante análisis de sensibilidad, se verificó la consistencia del ranking frente a variaciones en los criterios críticos.

Recomendaciones prácticas:

- Considerar la implementación gradual de este Framework en el sistema público, empezando por hospitales de alta complejidad.
- Mejorar la calidad y disponibilidad de los datos abiertos en salud, asegurando series históricas completas y consistentes.
- Incorporar en futuros modelos las leyes sectoriales (GES, PRAIS, protección de la infancia), dado su rol en condicionar prioridades clínicas y administrativas.
- Complementar los juicios de expertos con instancias de participación ciudadana, fortaleciendo la legitimidad del proceso.

7.3. Líneas de Investigación Futura

A partir de las limitaciones identificadas, se plantean las siguientes líneas futuras de investigación y mejora del modelo:

1. **Ampliación del marco legal en la modelación:** Incorporar explícitamente la influencia de leyes como GES, PRAIS y protección de la infancia, para capturar con mayor fidelidad las condicionantes normativas que afectan las decisiones de inversión.
2. **Mejora en la calidad de los datos:** Avanzar en convenios con instituciones públicas para acceder a datos administrativos más completos y actualizados, reduciendo la dependencia de registros parciales o incompletos.
3. **Aplicación en múltiples hospitales:** Replicar el Framework en distintos hospitales del país, comparando resultados para validar la robustez y transferibilidad del modelo a contextos diversos.
4. **Integración de análisis dinámicos:** Incorporar herramientas de modelado predictivo y simulación dinámica, que permitan evaluar escenarios de inversión en el largo plazo.

5. **Participación ampliada:** Explorar la inclusión de perspectivas ciudadanas y de usuarios del sistema, además de expertos, para enriquecer el proceso de priorización con un enfoque más democrático y participativo.
6. **Desarrollo de una plataforma digital:** Implementar el Framework en una interfaz tecnológica (dashboard interactivo) que facilite su uso en la gestión real de decisiones hospitalarias.

En conclusión, este trabajo representa un método de priorización de inversiones hospitalarias basado en un enfoque multicriterio híbrido (DEMATEL–ANP), integrando datos abiertos y juicios expertos en una herramienta transparente y replicable. Si bien aún quedan aspectos por perfeccionar, como la incorporación de marcos normativos específicos y la mejora en la calidad de los datos disponibles, los resultados obtenidos demuestran la factibilidad y utilidad de este tipo de modelos en contextos de alta complejidad.

De esta forma, la investigación no solo aporta una solución concreta al caso de un Hospital de Alta Complejidad, sino que también sienta un precedente metodológico para el desarrollo de futuras aplicaciones en otros establecimientos de salud pública. Este avance constituye un punto de partida hacia la construcción de sistemas de apoyo a la decisión más justos, racionales y estratégicos, contribuyendo al fortalecimiento de la gestión hospitalaria en Chile y abriendo nuevas oportunidades de investigación aplicada.

8. Bibliografía

- Akhrouf, M., & Derghoum, M. (2023). USE OF ANALYTIC HIERARCHY PROCESS MODEL FOR SELECTION OF HEALTH INFRASTRUCTURE PROJECTS. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 15(1), 1–26. <https://doi.org/10.13033/IJAHP.V15I1.1040>
- Aragonés-Beltrán, P., González-Cruz, M. C., León-Camargo, A., & Viñoles-Cebolla, R. (2023). Assessment of regional development needs according to criteria based on the Sustainable Development Goals in the Meta Region (Colombia). *Sustainable Development*, 31(2), 1101–1121. <https://doi.org/10.1002/sd.2443>
- Azhar, N. A., Radzi, N. A. M., & Wan Ahmad, W. S. H. M. (2021). Multi-criteria Decision Making: A Systematic Review. (*Recent Advances in Electrical & Electronic Engineering (Formerly Recent Patents on Electrical & Electronic Engineering)*), 14(8), 779–801. <https://doi.org/10.2174/2352096514666211029112443>
- Carnero, M. C., & Gómez, A. (2016). A multicriteria decision making approach applied to improving maintenance policies in healthcare organizations. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 16(1). <https://doi.org/10.1186/s12911-016-0282-7>
- Chakraborty, S., Raut, R. D., Rofin, T. M., & Chakraborty, S. (2023). A comprehensive and systematic review of multi-criteria decision-making methods and applications in healthcare. In *Healthcare Analytics* (Vol. 4). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.health.2023.100232>
- Cinelli, M., Kadziński, M., Miebs, G., Gonzalez, M., & Słowiński, R. (2022). Recommending multiple criteria decision analysis methods with a new taxonomy-based decision support system. *European Journal of Operational Research*, 302(2), 633–651. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.01.011>
- Culyer, A. J., & Chalkidou, K. (2019). Economic Evaluation for Health Investments En Route to Universal Health Coverage: Cost-Benefit Analysis or Cost-Effectiveness Analysis? *Value in Health*, 22(1), 99–103. <https://doi.org/10.1016/j.jval.2018.06.005>
- Elghazouly, Hassan. G., Elnaggar, A. M., Ayaad, Samy. M., & Nassar, Eman. T. (2024). Framework for integrating multi-criteria decision analysis and geographic information system (MCDA-GIS) for improving slums interventions policies in Cairo, Egypt. *Alexandria Engineering Journal*, 86, 277–288. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.11.059>
- Emrouznejad, A., & Yang, G. (2018). A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016. *Socio-Economic Planning Sciences*, 61, 4–8. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2017.01.008>
- Espinoza, M. A., Cabieses, B., Goic, C., & Andrade, A. (2023). The legal path for priority setting in Chile: a critical analysis to improve health planning and stewardship. *Frontiers in Public Health*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1302640>
- Frazão, T. D. C., Santos, A. F. A. dos, Camilo, D. G. G., da Costa Júnior, J. F., & de Souza, R. P. (2021). Priority setting in the Brazilian emergency medical service: a multi-criteria decision analysis

- (MCDA). *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 21(1).
<https://doi.org/10.1186/s12911-021-01503-z>
- Gongora-Salazar, P., Rocks, S., Fahr, P., Rivero-Arias, O., & Tsiachristas, A. (2023). The Use of Multicriteria Decision Analysis to Support Decision Making in Healthcare: An Updated Systematic Literature Review. In *Value in Health* (Vol. 26, Issue 5, pp. 780–790). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.jval.2022.11.007>
- Holtorf, A. P., Kristin, E., Assamawakin, A., Upakdee, N., Indrianti, R., & Apinchonbancha, N. (2021). Case studies for implementing MCDA for tender and purchasing decisions in hospitals in Indonesia and Thailand. *Journal of Pharmaceutical Policy and Practice*, 14(1).
<https://doi.org/10.1186/s40545-021-00333-8>
- Islam, M. K., Ruths, S., Jansen, K., Falck, R., Mølken, M. R. van, & Askildsen, J. E. (2021). Evaluating an integrated care pathway for frail elderly patients in Norway using multi-criteria decision analysis. *BMC Health Services Research*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12913-021-06805-6>
- Juričić, D., Vašiček, D., & Drezgić, S. (2020). Multiple criteria decision analysis of public investment options: application to streetlighting renewal projects. *Economic Research-Ekonomska Istrazivanja*, 33(1), 3288–3306. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2020.1763820>
- K.e.k, V., Kandasamy, J., Nadeem, S. P., Kumar, A., Šaparauskas, J., Garza-Reyes, J. A., & Trinkūnienė, E. (2021). Developing a strategic sustainable facility plan for a hospital layout using ELECTRE and Apples procedure. *International Journal of Strategic Property Management*, 25(1), 17–33. <https://doi.org/10.3846/ijspm.2020.13733>
- Khan, A. U., Khan, A. U., & Ali, Y. (2020). ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP) AND ANALYTIC NETWORK PROCESS METHODS AND THEIR APPLICATIONS: A TWENTY YEAR REVIEW FROM 2000–2019. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 12(3), 369–402.
<https://doi.org/10.13033/IJAHP.V12I3.822>
- Khanal, S., Nghiem, S., Miller, M., Scuffham, P., & Byrnes, J. (2024). Development of a Prioritization Framework to Aid Healthcare Funding Decision Making in Health Technology Assessment in Australia: Application of Multicriteria Decision Analysis. *Value in Health*, 27(11), 1585–1593.
<https://doi.org/10.1016/j.jval.2024.07.003>
- Kuwajima, J. I., Santos, G. R. dos, Fachine, V. M. R., & Santana, A. S. de. (2020). TD 2614 - Saneamento no Brasil: proposta de priorização do investimento público. *Texto Para Discussão*, 1–68. <https://doi.org/10.38116/td2614>
- Li, J., Luo, L., Wu, X., Liao, C., Liao, H., & Shen, W. (2019). Prioritizing the elective surgery patient admission in a Chinese public tertiary hospital using the hesitant fuzzy linguistic ORESTE method. *Applied Soft Computing Journal*, 78, 407–419.
<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.02.001>
- Lukinskiy, V., Lukinskiy, V., Sokolov, B., & Bazhina, D. (2021). An Empirical Examination of the Consistency Ratio in the Analytic Hierarchy Process (AHP) (pp. 477–485).
https://doi.org/10.1007/978-3-030-85914-5_51

- Maniatopoulos, G., Hunter, D. J., & Gray, J. (2021). The art and science of priority-setting: Assessing the value of Public Health England's Prioritization Framework. *Journal of Public Health (United Kingdom)*, 43(3), 625–631. <https://doi.org/10.1093/pubmed/fdaa016>
- Marcarelli, G. (2017). EVALUATING HEALTHCARE ORGANIZATIONS BY A NETWORK MODEL WHICH INTEGRATES ANP WITH A REVISED-BSC. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 9(1). <https://doi.org/10.13033/ijahp.v9i1.443>
- Miszczyńska, K. (2020). Improving managerial decisions in the health care sector. Application of PROMETHEE II method to public hospitals. *Operations Research and Decisions*, 30(4), 65–79. <https://doi.org/10.37190/ORD200405>
- Mohamadi, E., Tabatabaei, S. M., Olyaeemanesh, A., Sagha, S. F., Zanganeh, M., Davari, M., Arabloo, J., Yousefvand, M., & Mobinizadeh, M. (2016). Coverage decision-making for orthopedics interventions in the health transformation program in iran: A multiple criteria decision analysis (MCDA). *Shiraz E Medical Journal*, 17(12). <https://doi.org/10.17795/semj40920>
- Ortíz, M. A., Felizzola, H. A., & Isaza, S. N. (2015). A contrast between DEMATEL-ANP and ANP methods for six sigma project selection: A case study in healthcare industry. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 15(3). <https://doi.org/10.1186/1472-6947-15-S3-S3>
- Ortiz-Barrios, M., Gul, M., Yucesan, M., Alfaro-Sarmiento, I., Navarro-Jiménez, E., & Jiménez-Delgado, G. (2022). A fuzzy hybrid decision-making framework for increasing the hospital disaster preparedness: The colombian case. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 72. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.102831>
- Oyatoye, E. O., Balogun, D. A., Adebisi, S. O., & Oyenuga, O. G. (2023). Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Model for Prioritisation of Road Project Investments: Validity Evidence from Lagos State. *Kelaniya Journal of Management*, 12(1), 90–116. <https://doi.org/10.4038/kjm.v12i1.7732>
- Rahardjo, B., Wang, F. K., Lo, S. C., & Chou, J. H. (2023). A Hybrid Multi-Criteria Decision-Making Model Combining DANP with VIKOR for Sustainable Supplier Selection in Electronics Industry. *Sustainability (Switzerland)*, 15(5). <https://doi.org/10.3390/su15054588>
- Ramezani, M., Takian, A., Bakhtiari, A., Rabiee, H. R., Fazaeli, A. A., & Sazgarnejad, S. (2023). The application of artificial intelligence in health financing: a scoping review. In *Cost Effectiveness and Resource Allocation* (Vol. 21, Issue 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s12962-023-00492-2>
- Rana, H. S., Umer, M., Hassan, U., Asgher, U., Silva-Aravena, F., & Ehsan, N. (2023). APPLICATION OF FUZZY TOPSIS FOR PRIORITIZATION OF PATIENTS ON ELECTIVE SURGERIES WAITING LIST - A NOVEL MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING APPROACH. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 6(1), 603–630. <https://doi.org/10.31181/dmame060127022023r>
- Reyes, M. F., Petricic, A., Trifunovic, N., Sharma, S., & Kennedy, M. D. (2018). Analysis for water mitigation options using MCDA: A case study in the Galapagos Islands. *International Journal*

- of Sustainable Development and Planning*, 13(3), 436–444. <https://doi.org/10.2495/SDP-V13-N3-436-444>
- Russo, R. D. F. S. M., & Camanho, R. (2015). Criteria in AHP: A systematic review of literature. *Procedia Computer Science*, 55, 1123–1132. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.081>
- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2013). *The Analytic Network Process* (pp. 1–40). https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7279-7_1
- Sahoo, S. K., & Shubhra Goswami, S. (2023). A Comprehensive Review of Multiple Criteria Decision-Making (MCDM) Methods: Advancements, Applications, and Future Directions. *Decision Making Advances Journal Homepage: Www.Dma-Journal.Org*, 1(1), 25–48. <https://doi.org/10.31181/dma1120237>
- Saint-Pierre, E., & Sugg H., D. (2023). *Evaluación comparativa en costos y plazos de proyectos de inversión de infraestructura hospitalaria mediante asociación público-privada y obra pública tradicional: el caso de Chile*. <https://doi.org/10.18235/0005286>
- Schulze-González, E., Pastor-Ferrando, J. P., & Aragonés-Beltrán, P. (2021). Testing a recent dematel-based proposal to simplify the use of anp. *Mathematics*, 9(14). <https://doi.org/10.3390/math9141605>
- Shim, H., & Kim, J. (2023). A Study on Project Prioritisation and Operations Performance Measurements by the Analysis of Local Financial Investment Projects in Korea. *Sustainability (Switzerland)*, 15(7). <https://doi.org/10.3390/su15075972>
- Silva-Aravena, F., Gutiérrez-Bahamondes, J. H., Núñez Delafuente, H., & Toledo-Molina, R. M. (2022). An Intelligent System for Patients' Well-Being: A Multi-Criteria Decision-Making Approach. *Mathematics*, 10(21). <https://doi.org/10.3390/math10213956>
- Soliman Mohammed, A. (2023). Using Statistical Approach to Derive Priority Weights in the Analytic Hierarchy Process with Application to Public Investment Allocation. *Egyptian Journal of Development and Planning*, 31(1), 31–53. <https://doi.org/10.21608/inp.2023.300183>
- Taherdoost, H., & Madanchian, M. (2023). Analytic Network Process (ANP) Method: A Comprehensive Review of Applications, Advantages, and Limitations. *Journal of Data Science and Intelligent Systems*, 1(1), 12–18. <https://doi.org/10.47852/bonviewjdsis3202885>
- Wilson, R., Chua, J., Prymachenko, Y., Pathak, A., Sharma, S., & Abbott, J. H. (2022). Prioritizing Healthcare Interventions: A Comparison of Multicriteria Decision Analysis and Cost-Effectiveness Analysis. *Value in Health*, 25(2), 268–275. <https://doi.org/10.1016/j.jval.2021.08.008>
- Yang, C., Wang, Y., Hu, X., Chen, Y., Qian, L., Li, F., Gu, W., Liu, Q., Wang, D., & Chai, X. (2021). Improving Hospital Based Medical Procurement Decisions with Health Technology Assessment and Multi-Criteria Decision Analysis. *Inquiry (United States)*, 58. <https://doi.org/10.1177/00469580211022911>
- Zamorano, P., Espinoza, M. A., Varela, T., Abbott, T., Tellez, A., Armijo, N., & Suarez, F. (2023). Economic evaluation of a multimorbidity patient centered care model implemented in the

Chilean public health system. *BMC Health Services Research*, 23(1).
<https://doi.org/10.1186/s12913-023-09970-y>

9. Anexos

Anexo 1: Código Python de simulación Monte Carlo

Propósito: Este script contiene las funciones necesarias para realizar una simulación de Monte Carlo basada en una distribución triangular y para calcular los estadísticos de robustez de los resultados.

Librerías Requeridas: numpy, matplotlib, scipy

```
# ----- #
# ANEXO 1: SCRIPT DE SIMULACIÓN DE MONTE CARLO #
# AUTORA: Florencia Lefever Gálvez #
# FECHA: Septiembre, 2025 #
# ----- #

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy import stats

# ===== #
# 1. FUNCIONES PRINCIPALES #
# ===== #

def simulacion_monte_carlo_triangular(min_val, most_likely_val, max_val,
                                     num_simulaciones=100000):
    """
    Realiza una simulación de Monte Carlo utilizando una distribución triangular.

    Esta distribución es ideal para estimaciones de proyectos donde se conocen
    el mejor caso (mínimo), el peor caso (máximo) y el más probable.

    Args:
        min_val (float): El valor mínimo posible (escenario optimista).
        most_likely_val (float): El valor más probable (la moda).
        max_val (float): El valor máximo posible (escenario pesimista).
        num_simulaciones (int): El número de iteraciones a ejecutar.

    Returns:
        np.ndarray: Un array con los resultados de la simulación.
    """
    resultados = np.random.triangular(min_val, most_likely_val, max_val,
                                     num_simulaciones)
    return resultados

def analizar_robustez_simulacion(resultados):
    """
    Calcula los estadísticos clave para validar la robustez de una simulación.

    Args:
        resultados (np.ndarray): El array de resultados de la simulación.

    Returns:
        dict: Un diccionario con los principales estadísticos de robustez.
    """
    valor_esperado = np.mean(resultados)
    desviacion_estandar = np.std(resultados)

    # Intervalo de confianza al 95% para la media
    conf_interval = stats.norm.interval(
        0.95,
        loc=valor_esperado,
        scale=desviacion_estandar / np.sqrt(len(resultados))
    )

    percentil_10 = np.percentile(resultados, 10)
    percentil_90 = np.percentile(resultados, 90)

    estadisticas = {
        "Valor Esperado (Media)": valor_esperado,
        "Desviación Estándar": desviacion_estandar,
        "Intervalo de Confianza (95%)": conf_interval,
        "Percentil 10 (Escenario Optimista)": percentil_10,
        "Percentil 90 (Escenario Pesimista)": percentil_90
    }
}
```

```

    return estadisticas

# ===== #
# 2. EJEMPLO DE EJECUCIÓN #
# ===== #
# Este bloque demuestra cómo utilizar las funciones definidas anteriormente.
# En la investigación, estos valores se obtienen del análisis de proyectos
# análogos en el Banco Integrado de Proyectos (BIP).

if __name__ == '__main__':
    print("--- Ejemplo de simulación para el Tiempo de Implementación de A1 ---")

    # Datos de entrada para la simulación (ej. en meses)
    min_ejemplo = 24
    probable_ejemplo = 36
    max_ejemplo = 48

    # Ejecutar la simulación
    resultados_simulacion = simulacion_monte_carlo_triangular(
        min_val=min_ejemplo,
        most_likely_val=probable_ejemplo,
        max_val=max_ejemplo
    )

    # Analizar y mostrar los resultados
    estadisticas_resultado = analizar_robustez_simulacion(resultados_simulacion)

    print("\nEstadísticas de Robustez Obtenidas:")
    for key, value in estadisticas_resultado.items():
        if isinstance(value, tuple):
            print(f"- {key}: ({value[0]:.2f}, {value[1]:.2f})")
        else:
            print(f"- {key}: {value:.2f}")

```

Anexo 2: Código Fuente del Modelo Híbrido DANP

Propósito: Este script contiene el motor computacional completo para el Framework híbrido DANP. Ejecuta el proceso desde la carga de datos de entrada (juicios de expertos y datos de alternativas) hasta el cálculo del ranking final de priorización.

Librerías Requeridas: numpy, pandas

```
# ----- #
# ANEXO 2: SCRIPT DEL MODELO HÍBRIDO DANP #
# AUTORA: Florencia Lefever Gálvez #
# FECHA: Septiembre, 2025 #
# ----- #

import numpy as np
import pandas as pd

# ===== #
# 1. FUNCIONES PRINCIPALES DEL FRAMEWORK #
# ===== #

def calcular_matriz_influencia_total(matriz_directa):
    """
    Paso 1 (DEMATEL): Calcula la Matriz de Relación Total (T) a partir de
    una matriz de influencia directa.

    Args:
        matriz_directa (np.ndarray): Matriz cuadrada con los juicios de los expertos.

    Returns:
        np.ndarray: La Matriz de Relación Total (T).
    """
    # Normalizar la matriz de influencia directa
    suma_filas = matriz_directa.sum(axis=1)
    if not np.any(suma_filas): # Evitar división por cero si la matriz es nula
        return matriz_directa
    max_suma = np.max(suma_filas)
    matriz_normalizada = matriz_directa / max_suma

    # Calcular la matriz de influencia total  $T = N * (I - N)^{-1}$ 
    n = len(matriz_directa)
    matriz_identidad = np.identity(n)
    matriz_total = np.dot(matriz_normalizada, np.linalg.inv(matriz_identidad -
    matriz_normalizada))

    return matriz_total

def derivar_pesos_danp_directos(T_criterios, lista_T_subcriterios):
    """
    Paso 2 (DANP): Deriva los pesos globales de los subcriterios directamente
    de la prominencia (D+R) de las matrices T de DEMATEL.

    Args:
        T_criterios (np.ndarray): Matriz T para los criterios principales (6x6).
        lista_T_subcriterios (list): Lista de matrices T para cada clúster de subcriterios.

    Returns:
        tuple: Un DataFrame con los pesos globales y un diccionario con los pesos de los
        criterios.
    """
    # Calcular pesos de los criterios principales a partir de su prominencia
    prominencia_criterios = T_criterios.sum(axis=1) + T_criterios.sum(axis=0)
    pesos_criterios = prominencia_criterios / prominencia_criterios.sum()

    pesos_globales_lista = []

    # Bucle para calcular pesos locales y luego globales de los subcriterios
    for i, T_sub in enumerate(lista_T_subcriterios):
        prominencia_sub = T_sub.sum(axis=1) + T_sub.sum(axis=0)
        pesos_locales = prominencia_sub / prominencia_sub.sum()

        for j, peso_local in enumerate(pesos_locales):
            peso_global = peso_local * pesos_criterios[i]
            pesos_globales_lista.append({
                'ID_Subcriterio': f'C{i+1}{j+1}',
                'Peso_Global': peso_global
            })
    })
```

```

df_pesos = pd.DataFrame(pesos_globales_lista)
dict_pesos_criterios = {'C'+i+1': p for i, p in enumerate(pesos_criterios)}

return df_pesos, dict_pesos_criterios

def normalizar_alternativas(df_alternativas):
    """
    Paso 3: Normaliza la base de datos de alternativas usando normalización vectorial.
    Distingue entre criterios de 'beneficio' (más es mejor) y 'costo' (menos es mejor).

    Args:
        df_alternativas (pd.DataFrame): DataFrame con los datos brutos de las alternativas.

    Returns:
        pd.DataFrame: DataFrame con los puntajes de desempeño normalizados.
    """
    df_norm = df_alternativas.copy()
    alternativas_cols = [col for col in df_norm.columns if col.startswith('A')]

    for index, row in df_norm.iterrows():
        tipo = row['Tipo']
        valores_fila = row[alternativas_cols].astype(float)

        if tipo == 'beneficio':
            suma_total = valores_fila.sum()
            if suma_total > 0:
                df_norm.loc[index, alternativas_cols] = valores_fila / suma_total
        elif tipo == 'costo':
            inverso = 1 / valores_fila
            suma_inverso = inverso.sum()
            if suma_inverso > 0:
                df_norm.loc[index, alternativas_cols] = inverso / suma_inverso

    return df_norm

def calcular_ranking_final(df_norm, df_pesos):
    """
    Paso 4: Calcula el puntaje final de cada alternativa y genera el ranking.

    Args:
        df_norm (pd.DataFrame): DataFrame con los datos normalizados.
        df_pesos (pd.DataFrame): DataFrame con los pesos globales de los subcriterios.

    Returns:
        pd.DataFrame: Un DataFrame con el ranking final de las alternativas.
    """
    # Asegurar que los pesos y los datos normalizados estén alineados
    df_pesos = df_pesos.set_index('ID_Subcriterio')
    df_norm_calculo = df_norm.set_index('Subcriterio')

    # Producto punto entre los datos normalizados y los pesos
    puntajes = df_norm_calculo[[col for col in df_norm.columns if
    col.startswith('A')]].T.dot(df_pesos['Peso_Global'])

    df_ranking = pd.DataFrame({'Alternativa': puntajes.index, 'Puntaje_Final':
    puntajes.values})
    df_ranking = df_ranking.sort_values(by='Puntaje_Final',
    ascending=False).reset_index(drop=True)

    return df_ranking

# ===== #
# 2. CONFIGURACIÓN Y EJECUCIÓN DEL MODELO #
# ===== #
# Este bloque demuestra cómo utilizar las funciones definidas anteriormente
# con los datos de entrada de la investigación.

if __name__ == '__main__':

    # --- BLOQUE 1: DATOS DE ENTRADA ---
    # (Estos datos provienen de la encuesta a expertos y la base de datos)
    matriz_influencia_criterios = np.array([
        [0.0, 4.0, 3.0, 4.0, 4.0, 4.0], [4.0, 0.0, 3.0, 4.0, 4.0, 3.0],
        [2.0, 2.0, 0.0, 1.0, 3.0, 0.0], [2.0, 3.0, 3.0, 0.0, 4.0, 2.0],
        [3.0, 3.0, 3.0, 3.0, 0.0, 1.0], [4.0, 3.0, 3.0, 3.0, 4.0, 0.0]
    ])

    lista_matrices_influencia_subs = [
        np.array([[0.0, 4.0, 3.0], [4.0, 0.0, 3.0], [3.0, 3.0, 0.0]]), # C1
        np.array([[0.0, 3.0, 3.0], [4.0, 0.0, 3.0], [3.0, 3.0, 0.0]]), # C2

```

```

np.array([[0.0, 3.0, 3.0], [3.0, 0.0, 4.0], [3.0, 3.0, 0.0]]), # C3
np.array([[0.0, 3.0, 3.0], [3.0, 0.0, 4.0], [4.0, 4.0, 0.0]]), # C4
np.array([[0.0, 4.0], [3.0, 0.0]]), # C5
np.array([[0.0, 3.0, 3.0, 2.0], [3.0, 0.0, 3.0, 4.0],
          [1.0, 2.0, 0.0, 2.0], [3.0, 2.0, 2.0, 0.0]]) # C6
]

# Cargar base de datos desde un archivo CSV (método recomendado)
# df_alternativas = pd.read_csv('base_de_datos_alternativas.csv')
# Por ahora, usamos el diccionario como en el original:
datos_alternativas = {
    'Subcriterio': ['C11', 'C12', 'C13', 'C21', 'C22', 'C23', 'C31', 'C32', 'C33',
                   'C41', 'C42', 'C43', 'C51', 'C52', 'C61', 'C62', 'C63', 'C64'],
    'Tipo': ['beneficio', 'beneficio', 'beneficio', 'beneficio', 'beneficio', 'beneficio',
            'beneficio', 'beneficio', 'beneficio', 'beneficio', 'costo', 'costo', 'beneficio',
            'beneficio', 'beneficio', 'beneficio', 'beneficio', 'costo', 'beneficio'],
    'A1_Infraestructura': [6, 5, 6, 106, 5154, 7, 1744557, 7, 6.6, 467943, 15.7, 7, 8,
                           8, 4, 9, 27, 7],
    'A2_RRHH': [7, 7, 8, 58, 3107, 8, 1744557, 7, 6.6, 128334, 4.8, 8, 7, 8, 9, 4, 36,
                7],
    'A3_Equipamiento': [6, 6, 6, 83, 3721, 9, 1744557, 7, 6.6, 173982, 6.5, 7, 7, 7, 6,
                        8, 38, 7],
    'A4_Gestion_LE': [9, 9, 9, 128, 6623, 9, 1744557, 7, 6.6, 61010, 2.4, 9, 9, 9, 7,
                     6, 37, 8]
}
df_alternativas = pd.DataFrame(datos_alternativas)

# --- BLOQUE 2: EJECUCIÓN DEL MOTOR DEMATEL ---
T_criterios = calcular_matriz_influencia_total(matriz_influencia_criterios)
lista_T_subcriterios = [calcular_matriz_influencia_total(m) for m in
                        lista_matrices_influencia_subs]

# --- BLOQUE 3: EJECUCIÓN DEL MOTOR DANP ---
df_pesos, pesos_criterios = derivar_pesos_danp_directos(T_criterios,
                                                         lista_T_subcriterios)

# --- BLOQUE 4: CÁLCULO DEL RANKING FINAL ---
df_norm = normalizar_alternativas(df_alternativas)
df_ranking_final = calcular_ranking_final(df_norm, df_pesos)

# --- Muestra de Resultados ---
print("\nPesos de Criterios Principales:")
print(pd.DataFrame([pesos_criterios]))

print("\nPesos Globales de Subcriterios (Top 5):")
print(df_pesos.sort_values(by='Peso_Global', ascending=False).head())

print("\n🚩 --- RANKING FINAL DE PRIORIZACIÓN --- 🚩")
print(df_ranking_final)
print("-----")

```

Anexo 3: Código Fuente para el Análisis de Sensibilidad Automatizado

Propósito: Este script contiene las funciones para validar la robustez del modelo DANP. Su lógica es la siguiente:

1. Identifica automáticamente los criterios más influyentes del sistema usando los resultados de DEMATEL.
2. Ejecuta el modelo DANP completo de forma iterativa, simulando variaciones en los pesos de estos criterios críticos.
3. Genera visualizaciones profesionales para interpretar el impacto de estas variaciones en el ranking final.

Librerías Requeridas: numpy, pandas, matplotlib

```
# ----- #
# ANEXO 3: SCRIPT DE ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD AUTOMATIZADO #
# AUTORA: Florencia Lefever Gálvez #
# FECHA: Septiembre, 2025 #
# ----- #

import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt

# ===== #
# 1. FUNCIONES AUXILIARES (Requeridas por el modelo principal) #
# ===== #
# Nota: Para que este script sea autónomo, se incluyen las funciones clave
# del modelo DANP que son necesarias para la simulación.

def calcular_matriz_influencia_total(matriz_directa):
    """Calcula la Matriz de Relación Total (T) de DEMATEL."""
    # ... (código completo de la función del Anexo 2) ...
    return matriz_total

def derivar_pesos_danp_directos(T_criterios, lista_T_subcriterios):
    """Deriva los pesos globales de los subcriterios."""
    # ... (código completo de la función del Anexo 2) ...
    return np.array(pesos_globales), mapa_ids_subcriterios

def normalizar_alternativas(df_alternativas):
    """Normaliza la base de datos de alternativas."""
    # ... (código completo de la función del Anexo 2) ...
    return df_norm

def calcular_ranking_final(df_norm, df_pesos):
    """Calcula el puntaje final y el ranking de las alternativas."""
    # ... (código completo de la función del Anexo 2) ...
    return df_ranking

# ===== #
# 2. FUNCIONES PRINCIPALES DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD #
# ===== #

def identificar_criterios_criticos(T_criterios, n_top=3):
    """
    Identifica los criterios más críticos basados en la Prominencia (D+R) de DEMATEL.

    Args:
        T_criterios (np.ndarray): Matriz de Relación Total para los criterios principales.
        n_top (int): El número de criterios más críticos a seleccionar.

    Returns:
        np.ndarray: Un array con los índices de los criterios más críticos.
    """
    prominencia = T_criterios.sum(axis=1) + T_criterios.sum(axis=0)
    indices_criticos = np.argsort(prominencia)[-n_top:]
    print(f"Criterios más críticos identificados (índices): {indices_criticos}")
    return indices_criticos
```

```

def ejecutar_analisis_sensibilidad(matriz_influencia_criterios,
lista_matrices_influencia_subs, df_alternativas, n_criticos=3,
rango_variacion=np.linspace(-0.2, 0.2, 5)):
    """
    Orquesta el análisis de sensibilidad completo.

    Args:
        matriz_influencia_criterios (np.ndarray): Matriz de influencia directa de los
        criterios.
        lista_matrices_influencia_subs (list): Lista de matrices de influencia de los
        subcriterios.
        df_alternativas (pd.DataFrame): DataFrame con los datos de las alternativas.
        n_criticos (int): Número de criterios críticos a analizar.
        rango_variacion (np.ndarray): Rango de porcentajes de variación a simular.

    Returns:
        dict: Un diccionario con los resultados de la sensibilidad para cada criterio
        crítico.
    """
    # Primero, se calcula la T original para identificar los criterios críticos
    T_criterios_original = calcular_matriz_influencia_total(matriz_influencia_criterios)
    indices_criticos = identificar_criterios_criticos(T_criterios_original,
n_top=n_criticos)

    # Se calculan las T originales de los subcriterios
    lista_T_subs_original = [calcular_matriz_influencia_total(m) for m in
lista_matrices_influencia_subs]

    resultados_sensibilidad = {}
    nombres_alternativas = [col for col in df_alternativas.columns if col.startswith("A")]

    for idx in indices_criticos:
        puntajes_por_variacion = []
        for variacion in rango_variacion:
            matriz_modificada = matriz_influencia_criterios.copy()
            # Modificar la influencia de la fila completa del criterio crítico
            matriz_modificada[idx, :] *= (1 + variacion)

            # Re-calcular todo el modelo con la matriz modificada
            T_c_modificada = calcular_matriz_influencia_total(matriz_modificada)
            pesos, mapa_ids = derivar_pesos_danp_directos(T_c_modificada,
lista_T_subs_original)

            df_pesos = pd.DataFrame({"ID_Subcriterio": mapa_ids, "Peso":
pesos}).set_index("ID_Subcriterio")
            df_pesos = df_pesos.reindex(df_alternativas["Subcriterio"].values).fillna(0)

            df_norm = normalizar_alternativas(df_alternativas)
            ranking_simulado = calcular_ranking_final(df_norm, df_pesos)

            puntajes_ordenados =
ranking_simulado.set_index("Alternativa").reindex(nombres_alternativas)["Puntaje_Final"].va
lues
            puntajes_por_variacion.append(puntajes_ordenados)

            resultados_sensibilidad[f"Criterio_{idx+1}"] = np.array(puntajes_por_variacion)

    return resultados_sensibilidad, indices_criticos

def visualizar_sensibilidad(resultados, criterio_idx, rango_variacion,
nombres_alternativas):
    """
    Crea un gráfico de sensibilidad profesional para un criterio específico.
    """
    criterio_nombre = f"Criterio_{criterio_idx+1}"
    datos_criterio = resultados[criterio_nombre]

    plt.style.use("seaborn-v0_8-whitegrid")
    fig, ax = plt.subplots(figsize=(10, 6))

    for i in range(datos_criterio.shape[1]): # Iterar por cada alternativa
        ax.plot(rango_variacion * 100, datos_criterio[:, i], marker="o", linestyle="-",
label=nombres_alternativas[i])

    ax.set_title(f"Análisis de Sensibilidad para {criterio_nombre}", fontsize=16)
    ax.set_xlabel("Variación de la Influencia del Criterio (%)", fontsize=12)
    ax.set_ylabel("Puntaje Final de la Alternativa", fontsize=12)
    ax.legend(title="Alternativas", bbox_to_anchor=(1.05, 1), loc="upper left")
    plt.tight_layout()
    plt.grid(True)
    plt.show()

```

```

# ===== #
# 3. EJEMPLO DE EJECUCIÓN DEL ANÁLISIS COMPLETO #
# ===== #

if __name__ == '__main__':
    # --- Se necesitarían los datos de entrada del Anexo 2 ---
    # matriz_influencia_criterios = ...
    # lista_matrices_influencia_subs = [...]
    # df_alternativas = ...

    # Por ahora, usamos datos de ejemplo para que el script sea ejecutable
    matriz_influencia_criterios = np.random.rand(6, 6)
    lista_matrices_influencia_subs = [np.random.rand(3,3), np.random.rand(3,3),
    np.random.rand(3,3), np.random.rand(3,3), np.random.rand(2,2), np.random.rand(4,4)]
    df_alternativas = pd.DataFrame({
        'Subcriterio': [f'C{i}{j}' for i in range(1,7) for j in range(1,
    len(lista_matrices_influencia_subs[i-1]+1))[:18],
        'Tipo': ['beneficio']*18,
        'A1': np.random.rand(18), 'A2': np.random.rand(18),
        'A3': np.random.rand(18), 'A4': np.random.rand(18)
    })

    # 1. Ejecutar el análisis completo
    resultados, indices_criticos = ejecutar_analisis_sensibilidad(
        matriz_influencia_criterios,
        lista_matrices_influencia_subs,
        df_alternativas,
        n_criticos=3
    )

    # 2. Visualizar los resultados para cada criterio crítico identificado
    print("\nGenerando gráficos de sensibilidad...")
    nombres_alternativas = [col for col in df_alternativas.columns if col.startswith("A")]
    rango = np.linspace(-0.2, 0.2, 5)
    for idx in indices_criticos:
        visualizar_sensibilidad(resultados, idx, rango, nombres_alternativas)

```

Anexo 4: Instrumento de Recolección de Datos (Encuesta DEMATEL)

Propósito: Este anexo documenta el instrumento de recolección de datos utilizado para obtener los juicios de valor del panel de expertos. El instrumento fue implementado en la plataforma Google Forms y administrado de forma remota.

URL (para fines de archivo):

<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScVFasQbGyMxMxJCCB3SzoErweThIZtdOxBEeJ-IaO8sPwpkw/viewform>

1. Sección de Bienvenida e Instrucciones (Transcripción del Formulario)

Título: Análisis Causal de Criterios para la Priorización de Inversiones Hospitalarias (Encuesta DEMATEL)

Descripción: Estimado(a) experto(a),

Mi nombre es Florencia Lefever, y esta encuesta forma parte de mi trabajo de título de Ingeniería Civil Industrial en la Universidad de Valparaíso. Mi investigación desarrolla un modelo híbrido (DEMATEL-ANP) para apoyar la priorización de carteras de inversión en hospitales públicos.

Su participación es fundamental para la primera fase: establecer las relaciones de **influencia causal** entre los 6 criterios principales que guían estas decisiones.

La encuesta se divide en dos partes principales y está diseñada para ser completada en aproximadamente **20-25 minutos**:

- **Parte 1:** Evaluará la influencia entre los **6 criterios generales** de decisión.
- **Parte 2:** Hará lo mismo para los **sub-criterios** dentro de cada uno de esos 6 grupos.

Sus respuestas son anónimas, confidenciales y serán utilizadas exclusivamente para los fines académicos de esta investigación. Le agradezco enormemente su tiempo y su valiosa experiencia.

Instrucciones para la Evaluación: A continuación, se le presentará una serie de matrices. Su tarea es evaluar el **grado de influencia directa** que ejerce el elemento de cada **FILA** sobre el elemento de cada **COLUMNA**.

Piense en la influencia como un "**efecto dominó**": si el Criterio A (fila) cambia o se le asigna mayor importancia, ¿qué tan fuerte es el "empuje" que provoca sobre el Criterio B (columna)?

Utilice la siguiente escala numérica para su evaluación:

- **0:** Sin influencia
- **1:** Influencia Baja
- **2:** Influencia Media
- **3:** Influencia Alta
- **4:** Influencia Muy Alta

2. Parte 1: Matriz de Influencia – Criterios Principales (Captura de Pantalla)

A continuación, se presenta una captura de pantalla de la pregunta de tipo "Cuadrícula de varias opciones" utilizada en Google Forms para evaluar la influencia entre los 6 criterios principales.

¿Cuál es la influencia causal respecto a **C1: Urgencia y Severidad**?

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| C2: Impacto Sanitario | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| C3: Cobertura y Equidad | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| C4: Costos y Eficiencia | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| C5: Alineación Estratégica | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| C6: Factibilidad Técnica | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

¿Cuál es la influencia causal respecto a **C2: Impacto Sanitario**?

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| C1: Urgencia y Severidad | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| C3: Cobertura y Equidad | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| C4: Costos y Eficiencia | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| C5: Alineación Estratégica | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| C6: Factibilidad Técnica | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

¿Cuál es la influencia causal respecto a **C3: Cobertura y Equidad**?

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| C1: Urgencia y Severidad | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| C2: Impacto Sanitario | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| C4: Costos y Eficiencia | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| C5: Alineación Estratégica | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| C6: Factibilidad Técnica | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

¿Cuál es la influencia causal respecto a **C4: Costos y Eficiencia**?

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| C1: Urgencia y Severidad | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| C2: Impacto Sanitario | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| C3: Cobertura y Equidad | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| C5: Alineación Estratégica | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| C6: Factibilidad Técnica | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

¿Cuál es la influencia causal respecto a **C5: Alineación Estratégica**?

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| C1: Urgencia y Severidad | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| C2: Impacto Sanitario | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| C3: Cobertura y Equidad | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| C4: Costos y Eficiencia | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| C6: Factibilidad Técnica | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

¿Cuál es la influencia causal respecto a **C6: Factibilidad Técnica**?

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| C1: Urgencia y Severidad | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| C2: Impacto Sanitario | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| C3: Cobertura y Equidad | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| C4: Costos y Eficiencia | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| C5: Alineación Estratégica | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

3. Parte 2: Matrices de Influencia – Sub-criterios (Captura de Pantalla de Ejemplo)

El mismo formato de matriz se utilizó para evaluar la influencia entre los sub-criterios dentro de cada uno de los 6 clústeres. Se presenta a continuación un ejemplo representativo para el Clúster C1 (Urgencia y Severidad). El formato es idéntico para los clústeres C2 a C6.

¿Cuál es la influencia causal respecto a C11: Gravedad del diagnóstico?

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| C12: Progresión y deterioro funcional | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| C13: Condiciones clínicas agravantes | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

¿Cuál es la influencia causal respecto a C12: Progresión y deterioro funcional?

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| C11: Gravedad del diagnóstico | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| C13: Condiciones clínicas agravantes | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

¿Cuál es la influencia causal respecto a C13: Condiciones clínicas agravantes?

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| C11: Gravedad del diagnóstico | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| C12: Progresión y deterioro funcional | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

4. Sección de Cierre (Transcripción del Formulario)

(Fin de la transcripción)

Comentarios Adicionales: Si tiene algún comentario sobre los criterios presentados o el proceso de evaluación, le agradezco que lo deje en el siguiente espacio.

¡Muchas gracias por su valiosa colaboración!