



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

Programa de Doctorado de Economía y Empresa  
Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

**Análisis de la relación entre el gasto militar, el  
desarrollo y el nivel de paz de un país. Una  
perspectiva multicriterio.**

**Tesis Doctoral**

**Luis Patricio Vallejo Rosero**

**Málaga 2023**


***Director:* Dr. Rafael E. Caballero Fernández**





UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

AUTOR: Luis Patricio Vallejo Rosero

 <https://orcid.org/0000-0002-7197-3948>

EDITA: Publicaciones y Divulgación Científica. Universidad de Málaga



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode>

Cualquier parte de esta obra se puede reproducir sin autorización pero con el reconocimiento y atribución de los autores.

No se puede hacer uso comercial de la obra y no se puede alterar, transformar o hacer obras derivadas.

Esta Tesis Doctoral está depositada en el Repositorio Institucional de la Universidad de Málaga (RIUMA): [riuma.uma.es](http://riuma.uma.es)



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD DE LA TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE DOCTOR

D. LUIS PATRICIO VALLEJO ROSERO

Estudiante del programa de doctorado DE ECONOMÍA Y EMPRESA de la Universidad de Málaga, autor de la tesis, presentada para la obtención del título de doctor por la Universidad de Málaga, titulada: ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE EL GASTO MILITAR, EL DESARROLLO Y EL NIVEL DE PAZ DE UN PAÍS. UNA PERSPECTIVA MULTICRITERIO.

Realizada bajo la tutorización de DR. RAFAEL E. CABALLERO FERNÁNDEZ y dirección de DR. RAFAEL E. CABALLERO FERNÁNDEZ.

DECLARO QUE:

La tesis presentada es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, conforme al ordenamiento jurídico vigente (Real Decreto Legislativo 1/1996, de 12 de abril, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, regularizando, aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), modificado por la Ley 2/2019, de 1 de marzo.

Igualmente asumo, ante a la Universidad de Málaga y ante cualquier otra instancia, la responsabilidad que pudiera derivarse en caso de plagio de contenidos en la tesis presentada, conforme al ordenamiento jurídico vigente.

En Málaga, a 26 de ENERO de 2023

Fdo.:LUIS PATRICIO VALLEJO ROSERO Doctorando/a	Fdo.: DR. RAFAEL E. CABALLERO FERNÁNDEZ Tutor/a
Fdo.: DR. RAFAEL E. CABALLERO FERNÁNDEZ Director/es de tesis	



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

RAFAEL CABALLERO FERNÁNDEZ, CATEDRÁTICO DE LA UNIVERSIDAD DE MÁLAGA (ESPAÑA).

**INFORMA:**

Que D. PATRICIO VALLEJO ROSERO ha realizado en la Universidad de Málaga y bajo mi dirección, el trabajo de investigación correspondiente a su Tesis Doctoral titulada:

**“ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE EL GASTO MILITAR, EL DESARROLLO Y EL NIVEL DE PAZ DE UN PAÍS. UNA PERSPECTIVA MULTICRITERIO.”**

Revisado el presente trabajo, estimo que puede ser presentado al tribunal que ha de juzgarlo. Además, la contribución que avala la tesis, en cuanto a artículos: “A Multiobjective Model for Analysis of the Relationships between Military Expenditures, Security, and Human Development in NATO Countries”, ha sido publicada en Mathematics (revista indexada en JCR), Volume 2021, 9, 23. <https://dx.doi.org/10.3390/math9010023016>

La publicación aquí especificada no ha sido utilizada en tesis anteriores.

Y para que conste a efectos de lo establecido en lo regulado por la legislación vigente, autorizo la presentación de esta Tesis dirigida en la Universidad de Málaga.

Málaga, 21 de diciembre de 2022



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

Programa de Doctorado de Economía y Empresa  
Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

**Análisis de la relación entre el gasto militar, el  
desarrollo y el nivel de paz de un país. Una  
perspectiva multicriterio.**

**Tesis Doctoral**

**Luis Patricio Vallejo Rosero**

**Málaga 2023**

***Director:* Dr. Rafael E. Caballero Fernández**



## AGRADECIMIENTOS

Mi infinito agradecimiento a Don Rafael Caballero Fernández;  
gracias por asumir un riesgo, gracias por su guía y gracias por su  
comprensión.

Mi reconocimiento a Doña Laura Delgado Antequera, Doña Ma. del  
Carmen García Centeno y Don Osvaldo Fosado, sin su apoyo no  
hubiese sido posible lograr este sueño.

Sus acciones han marcado mi vida y persistirán por siempre.

# DEDICATORIA

A mi familia.

## TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	I
ABSTRACT	VII
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Motivación	3
1.2 Objetivo general	6
1.3 Análisis de la literatura	9
1.3.1 El gasto militar	11
1.3.2 El Índice de Desarrollo Humano y el Índice Global de Paz	18
1.4 Desarrollo del trabajo	25
CAPÍTULO 2: ESTUDIO DE LOS PAÍSES DE LA ORGANIZACIÓN DEL TRATADO DEL ATLÁNTICO NORTE (OTAN)	29
2.1 Modelo multiobjetivo inicial	33
2.1.1 Países, variables y bases de datos	33
2.1.2 Formulación del modelo multiobjetivo	43
2.1.3 Resolución y análisis de resultados	55
2.2 Modelo multiobjetivo ampliado	63
2.2.1 Países, variables y bases de datos	64
2.2.2 Formulación del modelo	67
2.2.3 Resolución por clústeres y análisis de los resultados	73
2.3 Conclusiones del capítulo 2	82
CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE LOS PAÍSES DE AMÉRICA DEL SUR	85
3.1 Países, variables y bases de datos	89
3.2 Modelo multiobjetivo	93
3.2.1 Análisis descriptivo de las variables del modelo	94
3.2.2 Formulación del modelo multiobjetivo	97
3.2.3 Resolución y análisis de resultados	102
3.3 El caso de Ecuador	110
3.4 Comparativa América del Sur versus OTAN	113
3.5 Conclusiones del capítulo 3	116
CONCLUSIONES	119
BIBLIOGRAFÍA	125

## LISTA DE ACRÓNIMOS

BM	Banco Mundial
CINC	Composite Index of National Capability
CSPI	Composite Security Potential Indicator
DM	Decision-Maker
DF-GLS	Dickey-Fuller Generalized Least Squares
DPD	Dynamic Pannell Data
DS	Desviación Estándar
GCR	Global Corruption Report
GFSI	Global Food Security Index
GM	Gasto Militar
GMM	Método Generalizado de Momentos
GP	Goal Programming
GSI	Global Terrorism Index
HDR	Human Development Report
HPI	Henley Passport Index
HSI	Human Security Index
IED	Inversión Extranjera Directa
I+D	Investigación y Desarrollo
IDH	Índice Desarrollo Humano
IGP	Índice Global de Paz
JCR	Joint Research Centre
LPIB	Logaritmo del PIB
MCDM	Multiple Criteria Decision Making
MCDA	Multiple Criteria Decision Analysis
OLS	Ordinary Least Squares
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OTAN	Organización del Tratado del Atlántico Norte

PIB	Producto Interno Bruto
PIB pc	Producto Interno Bruto per cápita
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
SIPRI	Stockholm International Peace Research Institute
SMART	Specific, Measurable, Achievable, Realistic, Time-bound
VAR	Vector Autoregresivo
WEF	World Economic Forum
WHR	World Happiness Report
WM	World Bank

# RESUMEN

---



UNIVERSIDAD  
DE MALAGA

El desarrollo, el bienestar, la seguridad y la paz son objetivos fundamentales para cualquier país. Así mismo, y especialmente en los tiempos actuales, se debate cómo debe ser el gasto militar de las naciones para alcanzar algunos de dichos elementos, ya que, la seguridad juega un papel clave en el bienestar, la paz y el desarrollo. Por ese motivo, considerando que, estos objetivos no son independientes entre sí, sino que están interrelacionados, en este trabajo, nos planteamos analizar el equilibrio eficiente entre ellos, aproximando el desarrollo y bienestar de los países por el Índice de Desarrollo Humano (IDH), y la seguridad y la paz por el Índice Global de Paz (IGP).

Aunque estos objetivos son importantes en todos los países, no en todos se comportan de la misma forma. Así, con el fin de poder contrastar similitudes y diferencias en distintos grupos de países consideramos dos contextos diferentes, por un lado 27 países miembros de la OTAN y por otro, 10 países de América del Sur, ambos en el mismo periodo muestral, el comprendido entre los años 2008 y 2016.

La metodología que consideramos más adecuada para el análisis de la eficiencia del comportamiento de estas tres facetas conjuntamente fue la formulación de un modelo multiobjetivo, considerando los objetivos: Gasto Militar (GM), Índice de Desarrollo Humano (IDH) e Índice Global de Paz (IGP). El modelo se ajusta a nuestra visión de estos aspectos,

que se interrelacionan, y deben ser considerados y analizados simultáneamente, de forma que hagan visible las múltiples implicaciones que conlleva la implantación de políticas públicas asociadas.

Las variables explicativas han sido seleccionadas con una visión amplia de representación de los distintos sectores de un Estado: social, económico y seguridad; y, subsectores como educación, salud, comercio, niveles de globalización, fuentes de ingresos, infraestructura y tecnología, entre otros. Las variables que representan a estos sectores se utilizaron en tres escenarios definidos por el grupo de países que participan en el estudio y número de variables consideradas en cada escenario. Para la OTAN se consideraron dos escenarios, los mismos países con siete y diez variables explicativas, respectivamente; y para América del Sur se consideró un escenario con once variables explicativas. Concretamente, para el planteamiento del problema se utilizaron una serie de variables explicativas como: gasto público en educación, gasto en investigación y desarrollo (I+D), gasto público en salud, PIB, PIB pc, tamaño de la población, impuestos recaudados, tasa de mortalidad, apertura comercial, exportación de tecnología de la información, usuarios de internet, niveles de deuda pública, valor añadido al PIB por la industria, índice de libertad económica, personas privadas de libertad, libertad económica e índice de percepción de corrupción.

De esta forma, para la formulación del modelo multiobjetivo, se estimaron las funciones objetivo y las restricciones mediante diferentes modelos de datos de panel. A continuación, se determina la Frontera Eficiente complementando la misma con estudios más detallados dependiendo del caso analizado, como son la  $\epsilon$ -frontera, un análisis de clústeres o valores de referencia para los países, según sea considerado más apropiado.

El enfoque del trabajo va más allá de fines cuantitativos, aunque es pertinente resaltar la novedad de emplear un análisis de este tipo mediante un modelo multiobjetivo incorporando estos criterios. Consecuentemente, el verdadero objetivo del trabajo es enlazar estos resultados con las ciencias sociales materializadas en la seguridad y desarrollo de la población.

Los resultados obtenidos muestran que la mayor parte de los países presentan un comportamiento diferente al eficiente, lo cual es identificado como una oportunidad de cada uno de ellos para acercarse a la eficiencia y, por tanto, lograr mejores condiciones de desarrollo, niveles de paz y gasto militar con las inherentes consecuencias en las variables explicativas, que evidenciará en algún momento el efecto de equilibrio. En este contexto, el presente trabajo destaca el camino a seguir por los países, convirtiéndose en una herramienta que podría guiar la implementación de políticas públicas en los diferentes sectores del Estado, para lograr la eficiencia.



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

# ABSTRACT

---



UNIVERSIDAD  
DE MALAGA

Security, wellbeing, development, and peace are the key points that define any country. Nowadays, due to different factors, the debate lies on what should the military expenditure be for the nations to achieve any of those goals, as security plays a crucial role on the others. Hence, considering that these objectives are not independent from each other, but they are deeply interconnected, in this research we propose to analyze an efficient balance between them. To do so, we approximate the development and wellbeing of the countries under study by their Human Development Index (HDI) and we use the Global Peace Index (GPI) to estimate the peace level.

Despite these objectives are important in any country, they do not present the same behavior among the set of countries under study. Hence, to contrast differences and similarities within different groups of countries we consider two different scenarios: one with 27 members of NATO and another considering 10 countries from South America. Both scenarios are studied within the same time interval that corresponds to the years between 2008 and 2016.

From our point of view, the most appropriate methodology to analyze the efficiency of a country, considering these factors at the same time, is to formulate a multiobjective model to optimize the following criteria: Military Expenditure (ME), Human Development

Index (HDI) and Global Peace Index (GPI). The model is adjusted to our perspective about these objectives, which are interrelated and must be considered and analyzed simultaneously, such that it reveals the multiple implications that applying the appropriate public policies would bring.

Explanatory variables have been selected to provide a wide perspective on the different sectors that hold a state: social, economy and security. Additionally, subsectors such as education, health, commerce, globalization level, incomes, infrastructure, and technology, among others. These variables were applied in three different scenarios that were defined by the set of countries and the explanatory variables selected. In particular, for the same set of countries from NATO, two of these scenarios were studied: one with 7 and another one with 10 explanatory variables, whereas an additional study considers South America and a set of 11 explanatory variables. Then, the set of variables selected includes education expenditure, Research and Development (R&D) expenditure, health expenditure, GDP, GDP pc, population size, taxes, mortality, public debt, value added by industry, prisoners, trade openness, economic freedom, information technology exports, internet users, corruption perceptions index.

To formulate the multiobjective model, it is necessary to properly determine the functions that will define either the objectives or the constraints. All of them were estimated using data panel models. Later, when the model is defined and the efficient front is generated, we proceed with its analysis by incorporating additional studies according to each case, such as: Epsilon-Pareto front, a cluster analysis or using reference values for the countries, or whatever we considered more appropriate.

Hence, the importance of this research is not only quantitative, but it is new to apply this kind of analysis using a multiobjective model that contemplates the given set of objectives. Consequently, the aim of this work is to link these results with the social sciences related with security and development.

Finally, the results show that most countries present a non-efficient behavior. This is interpreted as an opportunity for each country to improve their performance and move closer to efficiency, and achieve better development conditions, peace level and military expenditure values, with the corresponding consequences on the explanatory variables. This will show, at one point, the balance effect. Then, in this context, this research highlights the steps to be followed by the countries, representing a tool that could guide the implementation of public policies on the different sectors of a country to achieve efficiency.



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

# **CAPÍTULO 1:**

## **INTRODUCCIÓN**

---



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

## 1.1 Motivación.

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha planteado 17 objetivos de desarrollo sostenible a través de los cuales intentan transformar el mundo. Entre estos objetivos se encuentran el Fin de la Pobreza (Objetivo 1); Salud y Bienestar (Objetivo 3); Educación de Calidad (Objetivo 4); Industria, Innovación e Infraestructura (Objetivo 9); Paz, Justicia e Instituciones sólidas (Objetivo 16); y, Alianzas para la logar Objetivos (Objetivo 17).

Entre las metas para el objetivo 1 se plantea erradicar la pobreza extrema, aumentar la cobertura de los sistemas de protección y movilizar recursos para el desarrollo de programas que coadyuven a lograr el mismo. Por el lado de la Salud y Bienestar se pretende mejorar los indicadores de mortalidad y aumentar sustancialmente la financiación de la salud, mientras que en el campo educativo se pretende ofrecer educación gratuita y de calidad para los niños además de una formación técnica, profesional y superior de calidad para los hombres y mujeres, aumentando los docentes cualificados.

En el área de Industria, Innovación e Infraestructura se plantea desarrollar infraestructuras nacionales, regionales y transfronterizas que apoyen el desarrollo económico

y el bienestar humano y que la contribución de la industria al empleo y al producto interno bruto aumenten significativamente. Se pretende además modernizar y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios.

En este campo se contempla también aumentar la investigación científica y mejorar la capacidad tecnológica, incrementando el número de personas que trabajen en investigación y desarrollo tanto en el sector público como privado, vinculándolo con el aumento al acceso a la tecnología de la información y comunicación.

En relación con la Paz, Justicia e Instituciones Sólidas se proyecta reducir significativamente todas las formas de violencia y las tasas de mortalidad, promoviendo el estado de derecho nacional e internacional y, a la vez, reducir las corrientes financieras y de armas ilícitas, la corrupción y el soborno; participar en la gobernanza mundial que permita proteger las libertades fundamentales de conformidad con las leyes nacionales y acuerdos internacionales.

Finalmente, en lo relacionado con las alianzas proponen, entre otros aspectos, mejorar la cooperación regional e internacional y coordinar en materia de ciencia y tecnología. Se busca promover un sistema de comercio multilateral universal, basado en normas, abierto, no discriminatorio y equitativo en el marco de la Organización Mundial del Comercio que promueva significativamente las exportaciones de los países en desarrollo con el fomento y promoción de alianzas eficaces en las esferas pública, público-privada y de la sociedad civil.

Por su parte, el Banco Mundial en sus estrategias sobre Fragilidad, Conflicto y Violencia 2020–2025 define, entre otros aspectos, lo siguiente “...los crecientes niveles de

desigualdad, la falta de oportunidades, la discriminación y la exclusión, exacerbando los agravios y las percepciones de injusticia. El cambio climático, el cambio demográfico, la migración, las transformaciones tecnológicas, los flujos financieros ilícitos y el extremismo están interconectados y plantean riesgos que trascienden las fronteras...”. Mientras que cuando se analiza el ámbito de personas, paz y prosperidad, destaca la necesidad de prevenir las causas profundas de los conflictos y que, para poner fin a la pobreza extrema, se necesita un enfoque urgente que aborde las situaciones de fragilidad y conflicto.

En este contexto, la seguridad y desarrollo de los Estados son objetivos nacionales permanentes que definen las posiciones estratégicas, políticas económicas y sociales de los gobiernos, planteando un desafío para definir la estructura del presupuesto público, buscando maximizar la seguridad, el bienestar y desarrollo de su población.

Las estadísticas evidencian que los grandes consumidores de recursos, en un Estado, son los sectores de salud y educación. Además, un componente importante de este presupuesto lo constituye el gasto militar o de defensa que, según Hartley (2010), tiene el objetivo de mejorar la capacidad de un Estado para defender sus intereses nacionales contra posibles amenazas.

La globalización hace que los efectos de las fluctuaciones económicas, los conflictos internacionales o el crimen transnacional se reflejen en todos los países. Las recesiones económicas generan restricciones y priorizaciones en la asignación de recursos, estando el sector de defensa casi siempre inmerso en estas variaciones como consecuencia de las políticas públicas implementadas por los gobiernos. En este sentido, la obtención y administración de los recursos, exige cada vez más sustento de métodos para la toma de decisiones, por lo que los miembros del sector público, específicamente de la defensa, deben

recurrir a herramientas económicas y administrativas actualizadas, que permitan obtener el máximo rendimiento de los recursos.

En este sentido las múltiples interrelaciones que existen entre la seguridad, desarrollo, gasto militar y demás sectores de un Estado han despertado interés a lo largo del tiempo, no solo por los recursos públicos involucrados, sino también para poder entender sus implicaciones y el equilibrio de los valores alcanzados en estos objetivos dentro de un país. Es así como Deger y Sen (1995) establecieron un involucramiento de aspectos como el desarrollo, crecimiento, gobernanza, seguridad y el gasto militar, mientras que Buzan (1991) enmarca a la seguridad en 5 sectores: militar, político, económico, social y ambiental, sectores que no operan aislados unos de otros y que definen un punto focal dentro de la problemática de la seguridad, entretejidos en una red sólida de vínculos. Consecuentemente la seguridad no puede analizarse de manera aislada, sino en un contexto comparativo y relacionándolo con los otros sectores (Bauwens, 1996).

Dada la relevancia de los Objetivos de Desarrollo Sostenible anteriormente señalados, se plantea un modelo que tenga en cuenta alguno de los objetivos mencionados, con el fin de encontrar soluciones eficientes acorde a las restricciones planteadas.

## **1.2 Objetivo general.**

El objetivo general perseguido en el presente estudio se centró en dos aspectos relevantes. Por un lado, se trató de identificar los comportamientos eficientes, entre las áreas de desarrollo y bienestar, seguridad y paz y gasto militar. Por otro lado, se analizó el

posicionamiento de los distintos países con respecto a dicho comportamiento eficiente, cuando existen modificaciones en las variables explicativas.

El estudio se realizó en dos escenarios diferentes. En el primero, en el contexto de los países de la OTAN, mientras el segundo se desarrolló para los países de América del Sur. Todo ello en el periodo de 2008 a 2016.

Se utilizó en el análisis el gasto militar, para medir el desarrollo y bienestar de un país se consideró la variable Índice de Desarrollo Humano, y para la seguridad y paz, el Índice Global de Paz. De esta forma, se pretendió establecer modelos multiobjetivo, adaptados a dichos escenarios, con el fin de analizar distribuciones eficientes de recursos, considerando las restricciones propias de modelos de esta índole. Estas restricciones, para tratar de reflejar de la mejor forma posible la realidad de los países en los que se desarrollan, trataron de recoger los aspectos más relevantes relacionados con temas del ámbito económico, social, de seguridad, educación, investigación, salud, infraestructuras, tecnológicos, etc.

Para lograr el objetivo general, y en los dos escenarios planteados, se realizaron diversas tareas. La primera de ellas fue formular el modelo multiobjetivo pertinente mediante la estimación de los objetivos y de las restricciones, expresados en función de nuestras variables de decisión, o variables explicativas, a través de modelos estimados utilizando datos de panel.

La segunda tarea consistió en la resolución de los modelos multiobjetivo formulados. La solución proporcionó una estimación de la Frontera de Pareto, la cual nos permitió, por un lado, analizar los equilibrios obtenidos de manera simultánea entre los objetivos Índice

de Desarrollo Humano, Índice Global de Paz y Gasto Militar. Por otro lado, ver los efectos que causan sobre nuestras variables de decisión.

La siguiente tarea fue desarrollar métodos adecuados sobre el modelo planteado. La finalidad de este desarrollo se basa en obtener un mayor aprovechamiento de los resultados. Para ello, se trató de complementar la eficiencia con otros análisis más específicos tanto en el espacio de las variables de decisión como en el espacio de objetivos, y siempre acordes con los resultados iniciales.

La última tarea, dentro de cada escenario, consistió en un análisis detallado de los países con el fin de estudiar su posición respecto a la frontera obtenida. En un primer lugar, este análisis se realizó de forma individual y, posteriormente, se efectuó un análisis clúster para su estudio a nivel de grupos. Esto convirtió al modelo en una herramienta novedosa, práctica y útil para indicar cuál sería la trayectoria a seguir en la obtención de soluciones que se acerquen a la eficiencia, mediante toma de decisiones, especialmente en el ámbito presupuestario, político y social.

Para finalizar, se estudió, en concreto y de manera breve, el caso de Ecuador, analizando su posicionamiento respecto a la Frontera Eficiente y las opciones que tendría para alcanzar la eficiencia, delineando las políticas públicas para este fin. Asimismo se realizó un estudio de las similitudes y diferencias de los resultados obtenidos en ambos escenarios.

### 1.3 Análisis de la literatura.

*“Security is defined as a 'state or sense of safety...”* (Harper Collins, 2021), en este contexto la seguridad se refiere a las personas y a las instituciones, las primeras desean estar a salvo y desarrollar su vida sin preocupaciones, mientras que las instituciones públicas y privadas buscan estabilidad para llevar a cabo sus actividades, promoviendo y respetando el imperio de la ley, buscando condiciones que garanticen el desarrollo y rentabilidad social y económica de sus inversiones.

El concepto de seguridad ha evolucionado, desde el punto de vista de Buzan (1981), desde una capacidad disuasiva de un Estado hacia visiones complejas propuestas por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) centrada en el individuo. En este enfoque las amenazas son variadas y amplias, van desde problemas transnacionales como guerras y narcotráfico hasta situaciones como los desastres naturales. En este contexto es en el que se realiza actualmente el gasto militar, en medio de conflictos, amenazas y búsqueda del balance entre la disuasión y el desarrollo.

Las políticas públicas de seguridad y defensa nacional buscan mantener la seguridad nacional en los frentes externos e internos, protegiendo de los peligros y riesgos a los miembros y los bienes de una comunidad. La seguridad nacional, en una mirada tradicional, hace referencia a los elementos constitutivos de un Estado: soberanía e integridad territorial. Estos conceptos han ido evolucionando a aspectos multidimensionales e interdependientes, tal como lo establecieron Jordan, Taylor y Korb (1994), mencionando que un Estado también

puede ser amenazado por aspectos que atenten contra los intereses económicos y políticos del mismo, como por ejemplo los bloqueos económicos.

Por su lado, Ugarte (2012) manifiesta que la defensa es un conjunto de medidas concretas que toma un Estado para salvaguardar los intereses expresados en su idea de seguridad. Estas dependerán de los medios materiales, tecnológicos y de infraestructura que dispongan las naciones para salvaguardar sus intereses y valores fundamentales. Claramente se evidencia la evolución de los conceptos de seguridad que, partiendo de la seguridad física, avanzan a conceptos inmateriales enfocados en el bienestar y desarrollo de las personas.

De manera general una política de defensa nacional se desarrollará entre los ejes del sistema de defensa nacional, mantenimiento de las fuerzas armadas como elemento de anulamiento, disuasor y de prevención; y, el control de su territorio terrestre, marítimo, aeroespacial y ciberespacial. Implementar esta política pública requiere ingentes cantidades de recursos para generar el bien público que es la “seguridad”. Entramos entonces al mundo de la economía de la defensa, ya que las fuerzas armadas y demás organismos involucrados en la seguridad y defensa son grandes consumidores de recursos económicos, escasos, y que podrían tener usos alternativos en otros sectores del Estado.

En este contexto la economía hace una gran contribución al establecimiento de la política de defensa, analizando el gasto militar en sus complejas relaciones con los otros sectores del Estado, buscando referencias de la eficiencia y costos de oportunidad en la generación de seguridad, desarrollo y bienestar de la población de un Estado.

Como corolario podemos establecer que la economía de la defensa aplica la teoría económica al sector defensa y sus efectos directos e indirectos (externalidades) en el contexto nacional e internacional, con el objetivo de proveer sustentos para el establecimiento de la

política de la defensa en un entorno cambiante, en el cual los tomadores de decisiones deben establecer el balance entre presupuestos de defensa, desarrollo y bienestar. Estas teorías o enfoques requieren de modelos matemáticos capaces de analizar esta complejidad, multidireccionalidad e interrelacionamiento de los gastos de defensa.

En los siguientes epígrafes profundizaremos el análisis los sectores de interés de la presente investigación. Iniciaremos con el gasto militar para posteriormente abordar las áreas de desarrollo y bienestar y la de seguridad y paz.

### **1.3.1 El gasto militar.**

De acuerdo con el Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI), en el año 2020 el gasto militar mundial ascendió a 1981 millones de dólares; el Banco Mundial reporta que el PIB mundial en el 2020 fue 84910 millones de dólares con lo cual se puede inferir que alrededor del 2.3% del PIB mundial es destinado a esta actividad. La cantidad de recursos es importante y es la razón de su continuo monitoreo y estudio, pero fundamentalmente por estar relacionado con la defensa de los países y la seguridad de la población, esta última considerada como un bien público.

Uno de los componentes más importantes dentro del campo de la seguridad lo representa el Gasto Militar (GM). Éste se ha estudiado exhaustivamente para comprender la toma de decisiones relacionada con el mismo y sus impactos en diferentes aspectos de la sociedad, como la economía, la propia seguridad y el desarrollo humano. Los resultados de estos estudios no han llegado a un consenso absoluto en cuanto a la comprobación de las hipótesis de si existe una relación entre el gasto militar y el crecimiento económico, si esta

relación es positiva; es decir, genera un crecimiento económico; o, por el contrario, es negativa por la carga del presupuesto de la defensa. Así mismo, si el efecto es igual tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo. Finalmente, si el efecto en la economía es lineal, no lineal de una vía o de doble vía (Benoit, 1973).

Dependiendo de la fuente o el país, el alcance del gasto militar puede variar. Para este estudio vamos a considerar el definido por el SIPRI y que también es recogido por el Banco Mundial, incluye a los gastos corrientes de capital relativo a las fuerzas armadas, fuerzas de mantenimiento de paz, ministerios de defensa y organismos relacionados con la defensa, fuerzas paramilitares que participan en la defensa y las actividades propias del área militar. Se considera también al personal militar y civil, pensiones de retiro y servicios sociales, operación, mantenimiento, compras, investigación y desarrollo y ayuda militar recibida como donación.

Vamos a intentar resumir los aspectos más relevantes del estudio del GM en lo que refiere a las metodologías, métodos, técnicas y datos utilizados.

La determinación de la relación del gasto militar, crecimiento económico y bienestar se inició hace mucho tiempo, estudios referentes fueron los realizados por Hitch y McKean (1960), Ram (1995) y Deger y Sen (1995). Hitch y McKean (1960) evidenciaron la utilidad de mirar los problemas militares desde la óptica económica de la asignación de recursos; “Los problemas militares son, en un aspecto importante, problemas económicos en la eficiencia de la asignación de los recursos”.

Por otro lado, Ram (1995) entregó una mirada amplia de los modelos, los procedimientos estadísticos y los resultados establecidos en las investigaciones del nexo entre el gasto de defensa y el crecimiento económico. Determinó que la mayoría de los

modelos utilizados fueron *ad hoc* y carecían de fundamentación económica bien definida. Destaca la adaptación del trabajo de Feder (1983) realizada por Biswas y Ram (1986), que propusieron una estructura simple que postula dos mecanismos de cómo el gasto militar podría afectar a la salida agregada de la función de producción y el crecimiento. Comenzando con funciones de producción neoclásicas simples, condujo a una ecuación de crecimiento cuyos parámetros incluyeron el efecto del gasto de defensa en el crecimiento económico.

Según Deger y Sen (1995) el estudio del gasto militar en los países en desarrollo refiere a cuestiones fundamentales del desarrollo-crecimiento económico, gobernanza y seguridad que son difíciles de modelar y cuantificar formalmente. Clasifica los modelos en tres bloques: los que analizan el lado de la oferta y la demanda en la formación de capital (keynesianos), los que destacan las externalidades (positivas o negativas) y aquellos que enfatizan que la seguridad es un bien público. Los modelos empíricos se establecieron fundamentalmente con una sola ecuación que utiliza la estimación de sistemas como los mínimos cuadrados. Sin embargo, se expone la idea de que una sola ecuación no puede abarcar la multitud de canales e interrelaciones complejas del gasto militar y la economía. Concluyó este estudio en que la defensa y el crecimiento están relacionados con la seguridad y el desarrollo, por lo tanto, es necesario plantear los modelos teóricos en el contexto más amplio del desarrollo socioeconómico mediante una explicación multivariable.

Por su parte Buzan (1991) enmarcó a la seguridad en cinco sectores: militar, político, económico, social y ambiental. Sectores que no operan aislados unos de otros y que definen un punto focal dentro de la problemática de la seguridad. Están entrelazados en una red sólida de vínculos, consecuentemente el estudio del gasto militar y la seguridad no puede analizarse

de manera aislada sino en un contexto comparativo y relacionándolos con los otros sectores como bien lo establece Bauwens (1996).

Hartley (2010) estableció que los beneficios del gasto en defensa son tanto económicos como no económicos. Los económicos incluyen seguridad y protección para los ciudadanos de una nación, incluidos sus activos, libertades personales, forma de vida e intereses comerciales que contribuyen a su prosperidad. Los beneficios no económicos incluyen la capacidad de perseguir intereses nacionales y objetivos de política exterior, contribuyendo a la seguridad regional (seguridad como un bien público) y aumentar la reputación internacional de un país y su posición en el mundo (factor de bienestar) a través de operaciones de mantenimiento de la paz y ayuda humanitaria.

Perlo-Freeman (2011) examinó si la evidencia estadística respalda la idea de que el gasto militar se incrementa a expensas del gasto social. No encontró ningún apoyo para la idea de que los aumentos en la carga militar en América Latina se hayan producido a expensas de los gastos en salud o educación, por el contrario, la tendencia regional durante el periodo estudiado fue que el gasto en salud aumentó mientras que el militar tendía a disminuir y que los gobiernos de la región gastaron considerablemente más en salud y educación que en las fuerzas armadas durante todo el periodo. Estos resultados son contrapuestos a los de Apostolakis (1992) que evidenció que en América Latina aparentemente existe una compensación entre los recursos para el gasto militar y los de salud, educación, seguridad social y bienestar, y que el gasto militar está positivamente relacionado con el trabajo público e infraestructura.

Topcu y Aras (2013) encontraron que, al parecer, el efecto del gasto militar en el crecimiento económico a través de la modernización, capacitación e infraestructura solo

posible en los países desarrollados que tienen una tecnología militar más sofisticada y capacidad de exportación.

Kollias et al., (2017) encontraron una relación bidireccional significativa entre la formación bruta de capital y el gasto militar en Brasil y Perú. En Argentina se observó una relación no lineal desde la formación de capital hacia el gasto militar, mientras que en Brasil, Chile, Colombia, Perú y Venezuela hallaron que el gasto militar promueve significativamente la formación bruta de capital, derivado esto por los efectos del doble uso de la infraestructura y aplicaciones tecnológicas.

En cuanto a la metodología y métodos utilizados en los trabajos citados con anterioridad podemos resumir lo siguiente:

*Tabla 1.1 Metodologías y métodos en el estudio del Gasto Militar*

<b>AUTOR</b>	<b>METODOLOGÍA</b>
Apostolakis (1992)	Análisis de series temporales de sección transversal y agrupaciones aplicando las OLS (Ordinary Least Square) multivariada.
Dunne, Nikolaidou y Mylo (2003)	Modelo de demanda basado en el principio neoclásico de maximizar el bienestar social en función de restricciones presupuestarias y de seguridad propuesto por (Smith, 1980) y (Smith, 1995).
Mansoob Murshed y Mamoon (2010)	Prueba de raíz unitaria DF-GLS.
Perlo-Freeman (2011)	Análisis de regresión múltiple.
Chang Huang, y Yang (2011), D'Agostino, Dunne y Pieroni (2017) y D'Agostino, Dunne y Pieroni (2018)	Datos de panel.
Ortega, Casquero y Sanjuán (2014)	OLS.
Lorusso y Pieroni (2017)	Vector autoregresivo (VAR)
Kollias et al., (2017)	Causalidad de Granger seguido de Toda-Yamamoto.
Solarin (2018)	Método Generalizado de Momentos (GMM) del sistema de paneles dinámicos.
Sarabia et al. (2020)	Regresión lineal.
Ghazalian y Hammoud (2020)	Panel de datos con diferentes metodologías econométricas.

*Fuente: Elaboración propia*

En general los análisis econométricos relacionan datos espaciales con su dimensión temporal, por ejemplo, observaciones de datos del Producto Interno Bruto (PIB) de varios países a lo largo de un periodo de tiempo. Podemos hablar de modelos dinámicos con

estructura de panel (DPD) y el auto regresivo de vectores (VAR), que tienen la capacidad de combinar la dinámica espacial con la temporal.

Los estudios revisados, en general, tienden a explicar la relación entre el gasto militar y el desarrollo económico utilizando como variable el PIB del país o el PIB per cápita y para el sector social recurren a una serie de variables relacionadas con el mismo, encontrándose trabajos que abordaron la relación del gasto militar con variables como desempleo (Abell, 1992; Azam et al., 2016; Malizard, 2014; Wing, 1991; Yildirim y Sezgin, 2003) citados en Zhang, Liu, y Wang (2016); desigualdad de los ingresos (Abell, 1994; Ali, 2007; Elveren, 2012; Lin, Ali, y Lu, 2015; Töngür y Elveren, 2015; Vadlamannati, 2008; Ali, 2012; Wolde-Rufael, 2014) citados en Zhang, Liu, y Wang (2016); salud y educación (Apostolakis, 1992; Ali, 2011; Kollias y Paleologou, 2011; Lin, Ali, y Lu, 2015; Zhang, Liu, y Wang, 2016; Fan, Liu, y Coyte, 2017); y por su parte Perlo-Freeman (2011) lo hizo con el gasto en salud, gasto militar, gasto en educación, PIB per cápita y deuda pública como porcentaje del PIB. Posteriormente el mismo autor, junto a otros, añadieron al estudio las variables exportaciones y reservas para el periodo (Dunne, Perlo-Freeman y Soydan, 2010).

Mansoob Murshed y Mamoon (2010) estudiaron la rivalidad entre India y Pakistán recurriendo a aspectos como el desempeño económico, comercio bilateral y multilateral, gasto militar, niveles de democracia y PIB. Los resultados mostraron que aumentar el comercio bilateral disminuye el nivel de conflicto, que el comercio regional genera efectos positivos para reducir el conflicto en el largo plazo y que el comercio mundial es un factor común para la resolución de conflictos.

Bove y Brauner (2016) lo relacionaron con el tipo de régimen autocrático. Dunne, Nikolaidou y Mylo (2003) recurrieron a variables como PIB, población, gasto del gobierno

y balanza comercial para analizar la demanda del gasto militar en las economías periféricas de Europa. Solarin (2018) además de las variables utilizadas por Dunne, Nikolaidou y Mylo (2003) incluyó entre otras la apertura comercial, globalización económica, urbanización, ratio de dependencia, gobierno (democracia – autocracia) e institucionalidad, representada esta última por el promedio de los derechos políticos y libertades civiles.

DiGiuseppe (2015) relacionó al gasto militar con el acceso favorable de un país al crédito soberano, evidenciando que los Estados solventes (con mayor acceso al crédito) tienen menos costos políticos cuando aumentan el gasto militar, y que los malos términos crediticios limitan la provisión de seguridad.

Por su parte Eichenberg y Stoll (2015) estudiaron los factores que influyen en el apoyo de los ciudadanos al gasto militar, las creencias, valores básicos y experiencia de vida fueron consideradas por ellos, como las más importantes influencias en la actitud frente al gasto militar.

Los trabajos analizados permiten establecer que en el área del gasto militar existen tanto desarrollos teóricos como empíricos y que los enfoques econométricos sustentados en las regresiones son los más utilizados para estudiar el impacto del gasto militar en otras áreas del Estado. Sin embargo, estos estudios no alcanzan a enmarcar las complejas interrelaciones simultáneas de este gasto con los otros sectores del Estado. Las tendencias para el análisis estadístico fue tomar muestras transversales de varios países o regiones en un momento determinado; y la segunda, está centrada en la utilización de series de tiempo para un país.

El presente estudio intentó solventar las debilidades de los modelos proponiendo un nuevo enfoque que promueva el análisis multidimensional y simultáneo del gasto militar en relación con los sectores del Estado concernientes con la seguridad, el desarrollo y la paz.

### 1.3.2 El Índice de Desarrollo Humano y el Índice Global de Paz.

Las referencias citadas previamente evidencian la interacción de la seguridad y la razón por la cual, buscando circunscribir esta investigación en esos complejos entretejidos de la seguridad con otros valores importantes del Estado y del ciudadano, se consideran indicadores que representan al desarrollo humano, la seguridad y la paz. Entre estos destacan el Índice de Desarrollo Humano (IDH) y Índice Global de Paz (IGP).

El IDH es seleccionado como proxy de desarrollo y bienestar ya que la construcción de este indicador abarca aspectos relacionados con las personas, sus oportunidades, selecciones y aspectos económicos al cual consideran con un medio para lograr el desarrollo y bienestar. Por otro lado, el IGP representa a la seguridad, ya que considera contextos como los conflictos internos o externos, seguridad y protección ciudadana la militarización y su relación con la tranquilidad nacional e internacional de los países y sus ciudadanos.

No existen investigaciones que analicen directamente el IDH e IGP con el gasto militar de un país pero sí con otros sectores del Estado; a continuación realizamos una reseña de investigaciones relevantes para nuestro trabajo.

Resultan interesantes las conclusiones que establecen Taydas y Peksen (2012) al analizar la capacidad del Estado para proveer bienestar social y su efecto sobre la seguridad ante la posibilidad de que se presenten conflictos civiles. Los resultados fueron que, a medida que los gobiernos aumentan la inversión en salud, educación y seguridad social, la probabilidad de que inicie un conflicto civil disminuye significativamente.

La educación, producto interno bruto (PIB), inversión, tecnología y conectividad fueron algunas áreas abordadas en los trabajos de estudio del GM, por lo que resulta de

interés analizar trabajos que los estudien en relación con el IDH o IGP. En esa línea, el trabajo de Gohou y Soumaré (2012) abordó la relación existente entre la Inversión Extranjera Directa (IED) y el bienestar en África, usando para ello el IDH (proxy de bienestar), PIB pc y un conjunto de variables de control económico-político, ambiente de negocios, cualidad de instituciones y riesgo político. Encontraron que existe una fuerte relación positiva entre la IED, PIB y el mejoramiento del nivel bienestar, que la IED, PIB, PIB pc, infraestructura, apertura comercial, usuarios de internet, número de líneas telefónicas y mayores libertadas están relacionadas positivamente con el mejoramiento del bienestar (IDH), y que la deuda, percepción de corrupción y derechos civiles lo están negativamente. Que la inflación y el tamaño del gobierno no son variables significativas que se relacionen con el bienestar. Adicionalmente encontraron que, la educación está correlacionada con los usuarios de internet, kilómetros de caminos y líneas de teléfonos; y que, el imperio de la ley y la percepción de corrupción están altamente correlacionados entre sí y estas dos lo están con los riesgos políticos.

Relacionado con la anterior, la percepción de corrupción tiene una influencia sobre los niveles de desarrollo y paz de las sociedades; Ortega, Casquero y Sanjuán (2014) evidenciaron que el efecto negativo de la percepción de corrupción sobre el crecimiento del IDH parece ser restrictivo para el componente de salud. Por tanto, la inversión de salud tiene impactos significativos en el desarrollo humano. Por su parte, Sarabia et al. (2020) investigaron sobre los contextos que favorecen al crecimiento del populismo en las democracias de Europa, relacionando el IDH y la percepción de la corrupción, desempleo, porcentaje de votos de los considerados populistas y migrantes. Los resultados mostraron

que existe una alta correlación entre el IDH y el nivel de corrupción, acompañado de efectos negativos en el empleo, inmigración y corrupción política.

En la correspondencia con el IGP, Kabát, Filip y Filipová (2017) analizaron las actuales tendencias en la medición de los niveles de seguridad y protección en el contexto de los impactos reales de las amenazas externas de conflictos bélicos internacionales, ataques terroristas y prácticas de corrupción a nivel individual y de país, considerando a la seguridad y protección como un problema multidimensional. Construyeron el “Composite Security Potential Indicator” (CSPI) sobre la base de indicadores como el Índice Global de Paz (IGP), “Global Food Security Index” (GFSI), percepción de corrupción, “Human Security Index” (HSI), “Global Terrorism Index” (GSI), “Composite Index of National Capability” (CINC) y el PIB per cápita.

Entre otros aspectos de interés encontraron que fortalecer el nivel de paz conduce a un mejor desempeño económico. Analizándose con más detalle los componentes del IGP se evidencia que mientras más alto sea el gasto militar, mejor es la clasificación internacional del país en relación a la seguridad.

En esta misma línea se encuentran Seabra et al. (2018) que estudiaron la relación entre el nivel de paz (IGP) del país de origen de los turistas y los viajes internacionales. Considerando lo propuesto por Coshall (2003) y Kozak, Crofts y Law (2007) de que el nivel de percepción de riesgo está mayormente asociado con factores como inestabilidad política, amenazas contra la salud, crimen, violencia, guerra, desastres naturales y terrorismo en el destino y sus áreas; encontraron que el nivel de paz tanto en el destino como en el país de origen son de gran importancia para los turistas al considerar su destino de viaje. Además,

plantean que, sin importar el nivel de IGP, todos tienen como preocupación principal la existencia del terrorismo.

Estos hallazgos son de especial interés por las implicaciones económicas que tiene el nivel de paz para los países con un componente importante de su PIB en el turismo.

El desarrollo humano, la paz y la economía fueron abordados por Okagbue et al. (2019) quienes realizaron un estudio sobre los predictores del “Henley Passport Index” (HPI) utilizaron el IGP, percepción de corrupción y “World Happiness Report” (WHR), encontrando que los países con pasaportes fuertes están caracterizados por economías robustas que los hacen atractivos a las inversiones y que por tanto es necesario realizar esfuerzos para reducir la corrupción. Por otro lado, un bajo HPI y alta percepción de la corrupción puede acarrear baja competitividad comercial y bajo desarrollo humano (IDH).

El efecto de la economía nacional y los factores socioeconómicos en el nivel de paz de una nación (IGP) fue examinado por Ghazalian y Hammoud (2020) considerando factores como desarrollo económico, desigualdad económica, apertura comercial, educación, democracia, disponibilidad de recursos naturales y alianzas internacionales. En sus conclusiones encontraron que los países con altos niveles de desarrollo, sistemas comerciales abiertos, población educada y sistemas democráticos descansan sobre niveles de paz más altos, mientras que los países con alta desigualdad de ingresos, pero con amplios recursos naturales tienden a ser menos pacíficos. Además, concluyeron que las alianzas internacionales y bloques regionales traen más beneficios de promoción económica y propiedades disuasivas.

La revisión bibliográfica evidencia que la paz, la seguridad y el bienestar y desarrollo humano van más allá del gasto militar, tienen múltiples interrelaciones; además,

identificamos que el gasto militar, desarrollo y paz se han estudiado en relación con el progreso, salud, educación, bienestar, seguridad, población, globalización, tecnología, condiciones y expectativas de vida, muertes, personas privadas de la libertad, infraestructura y conectividad, entre otras.

En la literatura no se encontró estudios que modelen simultáneamente la relación gasto militar, seguridad, bienestar y desarrollo. Adicionalmente, se identificó que la mayoría de las investigaciones fueron desarrolladas con un enfoque clásico econométrico sustentadas en las regresiones, por lo que se justifica una investigación para definir un modelo matemático que permita estudiar esta relación de manera simultánea.

La asignación de recursos para el gasto militar se enmarca en el ámbito de la toma de decisiones circunscritas en un tiempo, lugar y condiciones específicas. Al momento de tomar decisiones existen actores (Estado-Gobierno), múltiples objetivos que entran en conflicto (seguridad, bienestar, desarrollo, salud, educación) y recursos finitos (presupuesto). Al respecto, creímos necesario usar metodologías que permitan comprender cómo se combinan simultáneamente estos factores inmersos en la toma de decisiones del gasto militar, evidenciándose que no depende solamente de las restricciones presupuestarias o de un acto de optimización (Intriligator, 1971).

En la actualidad, la metodología multicriterio constituye uno de los pilares para la toma de decisiones. Se aplica en varios campos, entre los que destacan la economía y finanzas, administración pública, producción y operaciones, selección de proyectos de inversión, salud y el sector militar.

Phillips y Bana e Costa (2005) señalan que si múltiples partes con diferentes agendas compiten por recursos limitados, las asignaciones de recursos individualmente óptimas rara

vez son colectivamente óptimas debido a los diversos objetivos y la complejidad de los sistemas económicos y biofísicos. Wang et al., (2009) por su parte plantean que los métodos MCDM (*Multiple Criteria Decision Making*) se han vuelto populares en la toma de decisiones, pensamiento que fue corroborado por Grajales-Quintero, Serrano-Moya y Hahn Von-H (2013), basando sus conclusiones en la incorporación de los conflictos a los objetivos económicos, ambientales, sociales y los diferentes niveles de toma de decisiones.

Así mismo, Zavadskas y Turskis (2011) establecieron que la Investigación de Operaciones es la aplicación del método científico a la gestión de sistemas organizados, entre los cuales están los programas gubernamentales, sociales y sistemas de defensa, permitiendo resolver problemas que son imposibles de hacerlo aplicando modelos comunes de optimización.

En la misma línea Caballero, Romero y Ruiz (2016) mencionan que en muchas situaciones reales, las preferencias del DM (*Decision-Maker*) no están bien caracterizadas por una sola función objetivo, sino por un conjunto de objetivos en conflicto, de naturaleza diferente, y que la Toma de Decisiones de Criterios Múltiples (MCDM) ha abierto caminos nuevos y revolucionarios para la ciencia de la optimización.

Además, la programación multiobjetivo permite trabajar con varios objetivos en una región factible y determinar su Frontera de Pareto (Steuer, 1986). Esta capacidad la convierte en una de las mejores metodologías para recoger y analizar simultáneamente las disparidades observadas en los países derivadas de sus aspectos político, económico, social y cultural.

Aunque ningún trabajo previo ha buscado una solución a este tipo de problema desde una perspectiva multiobjetivo, este estudio podría enmarcarse parcialmente como un

problema de asignación presupuestaria (Pérez y Gómez, 2016; Liern y Pérez-Gladish, 2020) y ser abordado desde una perspectiva de sostenibilidad (Arratia et al., 2016).

En la revisión de la literatura se identificó investigaciones que aplican el MCDA (*Multiple Criteria Decision Analysis*) para distribuir recursos entre diferentes sectores de un Estado. Habeeb (1991) señaló que dados los objetivos que deben alcanzarse dentro de un país, los recursos disponibles pueden asignarse a los diversos sectores de una manera eficiente y con estándares objetivos mediante el modelo de Programación por Objetivos (*Goal Programming, GP*).

En el caso de Hu, Homem-de-Mello y Mehrotra (2011), mencionan que los métodos típicos aplicados al presupuesto incluyen la programación por metas, suma ponderada, decisión de criterios múltiples y el proceso analítico jerárquico. Proponen un modelo de criterios múltiples bajo incertidumbre, aplicándolo al presupuesto para la seguridad nacional. Por su parte, Morais y De Miranda Mota (2013) utilizaron el método SMARTS combinado con un procedimiento de obtención de ponderaciones de *swing* con una simulación de Monte Carlo para respaldar la planificación de la seguridad pública y priorizar las zonas basadas en factores que influyen en la criminalidad, todo esto con el fin de orientar el presupuesto en inversiones y políticas públicas.

Habu y Okolo (2013) analizaron la asignación presupuestaria a los diferentes sectores del Estado de Taraba en el noreste de Nigeria e integraron el método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) a un modelo GP. Otro de los trabajos realizados en este orden fue el de González-Fernández, Rubio-Misas y Ruiz (2020), que utilizaron la programación multiobjetivo como un complemento a un análisis econométrico para encontrar el perfil más rentable de las compañías aseguradoras. Afirman que esta metodología facilita la resolución

del problema y además proporciona oportunidad a los tomadores de decisiones de una herramienta que puede ser personalizada conforme las características de su empresa.

La presente investigación realizó varios aportes al campo del estudio del gasto militar que lo diferencian de los encontrados en la revisión bibliográfica, entre los cuales podemos destacar:

- 1) Estudia al Gasto Militar (GM) de manera simultánea con el Índice de Desarrollo Humano (IDH) y el Índice Global de Paz (IGP) buscando la relación que optimice los tres objetivos.
- 2) Recurre al análisis estadístico a través de datos de panel de efectos fijos para estimar las funciones objetivo, así como el conjunto de restricciones que constituyen la base para formular el modelo multiobjetivo.
- 3) Utiliza un modelo de programación multiobjetivo para identificar un conjunto de conductas que logran de manera eficiente estos objetivos, los cuales inicialmente están en conflicto entre sí.
- 4) Posiciona los países, o grupos de los mismos, respecto de la Frontera de Pareto generada.

#### **1.4 Desarrollo del trabajo.**

La revisión bibliográfica muestra que el gasto militar ha sido estudiado tanto con modelos teóricos como empíricos, sustentados fundamentalmente con regresiones de datos transversales o series de tiempo. Sin embargo, este enfoque no alcanza a cubrir las complejas interrelaciones entre los distintos sectores de un Estado que generan paz, seguridad, bienestar

y desarrollo. Esta realidad abre una oportunidad para realizar una investigación sobre un modelo que analice simultáneamente la relación gasto militar, seguridad, bienestar y desarrollo, explicadas estas con un conjunto de variables que representen a distintos sectores de un Estado.

Esta investigación analizó dos grupos de países de interés: la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) y América del Sur. En primera instancia se estudió 27 países pertenecientes a la OTAN, para posteriormente analizar un conjunto de 10 de los países que conforman América del Sur. En ambos casos el periodo de estudio contemplado fue 2008-2016.

El fin es encontrar valores del Gasto Militar, Índice de Desarrollo Humano e Índice Global de Paz enmarcados en la eficiencia pero que puedan ser alcanzados por los países con la implantación de políticas públicas dentro de su propia realidad. Se busca un modelo que se convierta en una herramienta para que el tomador de decisiones evidencie los efectos de compensación entre los objetivos, así como las políticas públicas que deben aplicar en los diferentes sectores para alcanzar las condiciones requeridas en las variables explicativas.

Los datos para la investigación se obtuvieron de las fuentes identificadas en la revisión bibliográfica, garantizando que sean estandarizadas y aceptadas de manera global, además de que hayan servido de base en estudios científicos previos. Podemos nombrar entre estas al “Stockholm International Peace Research Institute” (SIPRI), Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN), ONU, Centro de Investigación Conjunta de la Comisión Europea (JCR), Informe Mundial de Corrupción (GCR), Organización de las Naciones Unidas (ONU), Banco Mundial (WB), Human Development Report (HDR), entre otras.

El trabajo de investigación se desarrolló con la siguiente estructura; el capítulo 2 establece y resuelve el modelo en un conjunto de países de la OTAN, determinando la Frontera Eficiente tanto para los objetivos como para las variables de decisión utilizadas. Aquí se explicó la metodología y métodos de resolución. En este mismo capítulo se utilizó el modelo para estudiar con mayor detalle la estructura de la Frontera Eficiente del grupo de países de la OTAN, agrupándolos en clústeres y posicionándoles respecto de la Frontera Eficiente.

El capítulo 3 se centró en aplicar el modelo en América del Sur, se incrementó el conjunto de variables con la idea de robustecer al modelo desarrollado probándolo en otras condiciones, y a la vez, explorar las relaciones con otros aspectos de un Estado y sus efectos sobre el conjunto de objetivos. Una vez finalizado este estudio, se realizó un análisis más detallado para el caso de Ecuador, así como las diferencias y similitudes existentes entre los países de la OTAN y los países de América del Sur.

La parte final del trabajo, son las conclusiones generales, las que recogen los hallazgos relevantes del trabajo y que permitieron identificar los posibles trabajos futuros para mejorar o proyectar lo logrado en esta investigación.



UNIVERSIDAD  
DE MALAGA

## **CAPÍTULO 2:**

# **ESTUDIO DE LOS PAÍSES DE LA ORGANIZACIÓN DEL TRATADO DEL ATLÁNTICO NORTE (OTAN)**

---



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

El presente capítulo, como fue comentado previamente, se centró en dar respuesta a los objetivos de esta tesis para uno de los dos grupos de países que se definieron, los países pertenecientes a la OTAN. Se consideró este grupo de países por dos razones: la primera porque su fundamento de conformación es la “alianza militar intergubernamental”, y segundo, porque los países integrantes son diversos en ubicación geográfica, sistemas de gobierno, tamaños de economía, población y territorio.

No todos los países comparten frontera geográfica, pero sí los une el objetivo de constituirse en un sistema de defensa colectiva de cualquiera de sus miembros que sea atacado por una potencia externa. Las condiciones descritas anteriormente hacen que la OTAN se convierta en sujeto de estudio sumamente interesante en el marco de nuestra investigación.

En este capítulo se buscó analizar la eficiencia del comportamiento de los países, entre los criterios del gasto militar, el bienestar y desarrollo de la población y sus niveles de paz. Se persigue estudiar la interrelación entre los comportamientos eficientes de esos objetivos, en un entorno limitado por restricciones que se fundamentan en aspectos esenciales de la población como gastos en salud o educación, y otros aspectos económicos, tecnológicos, comerciales y sociales.

Con el fin de llevar a cabo dicho estudio, se utilizó la toma de decisiones multicriterio, presentando un modelo multiobjetivo que nos permite analizar la eficiencia de los objetivos. Este enfoque creemos que es el apropiado para nuestro estudio como lo prueban el gran número de problemas sociales, económicos y ambientales en los que han sido aplicados.

El trabajo permitió analizar cómo los objetivos arriba descritos conforman una Frontera Eficiente, la cual facilitó ubicar los países respecto de la misma y visualizar sus oportunidades de mejora. En este punto reside la utilidad del trabajo, ya que, esta ubicación permitirá a los tomadores de decisiones identificar los aspectos sobre los cuales se tienen que implementar las mejoras de las políticas públicas para lograr la eficiencia.

El presente capítulo se desarrolló, en su primera parte, estableciendo el conjunto de países considerados para el estudio, los datos recopilados en las distintas bases de datos y el periodo de los mismos, así como una definición de las variables seleccionadas para el análisis. Posteriormente, se dio paso a la formulación del modelo multiobjetivo, en cuanto a la estimación de las funciones objetivo y las restricciones, a partir de los datos considerados. Finalmente, se resolvió el mismo y se analizó los resultados obtenidos. Es de destacar que, para reflejar diversas realidades, en el planeamiento de los diferentes modelos de esta investigación, el enfoque dado al gasto militar cambió. Así, en el primer modelo planteado se minimizó, mientras que en el resto se lo maximizó. Los motivos que llevaron a minimizarlo, en el primer modelo planteado, se basan fundamentalmente a que en etapas de mayor estabilidad o en las que existe una débil percepción social de amenazas en seguridad, parece más razonable dedicar una parte mayor del presupuesto a otro tipo de gastos, tales como, investigación, sanidad, energía, educación, cultura, etc. Mientras que, por el contrario, en épocas de mayor inestabilidad, amenaza terrorista o más convulsas (como en la que

estamos inmersos en la actualidad como consecuencia de la invasión de Ucrania, por ejemplo) tiene más sentido plantear un modelo en el que el gasto militar se maximice.

Con el fin de plasmar nuevos aspectos de interés, se amplió el estudio para este mismo grupo de países. Así, no solo se plantea el gasto militar como un objetivo a maximizar<sup>1</sup>, manteniendo el carácter del resto de los objetivos, sino que se incluyó nuevas variables explicativas. Además, para analizar las diferencias o similitudes existentes entre los países, se realizó sobre los mismos un análisis clúster. Esto permitirá observar los efectos de los objetivos sobre los diferentes grupos de países.

## 2.1 Modelo multiobjetivo inicial.

En este apartado se formula el modelo base sobre el que se trabaja a lo largo de toda nuestra investigación, es por tanto en este epígrafe donde se exponen, con un mayor detalle, los aspectos esenciales referidos tanto a los datos como a la formulación del modelo y la estimación de los elementos integrantes del mismo.

### 2.1.1 Países, variables y bases de datos.

El modelo multiobjetivo contiene información de un grupo de 27 países miembros de la OTAN e incluye tres funciones objetivo el GM, IDH e IGP. En el planteamiento del problema inicial son múltiples los factores que pueden tenerse en cuenta. Sin embargo, los

---

<sup>1</sup> El carácter del resto de los objetivos no cambia, ya que, lograr los mayores niveles de paz y desarrollo en un país es un planteamiento que no genera controversia como puede ocurrir con el carácter del gasto militar.

problemas de inexactitud de la información de los mismos, la falta de fiabilidad de las fuentes o de homogeneidad de los datos, así como; el hecho de que sean puramente exógenos y no muestren problemas de endogeneidad, ha llevado a considerar siete variables explicativas en el periodo muestral de 2008-2016. En la selección de estas variables se pretendió reflejar inicialmente aspectos internos de los países claves para los objetivos considerados que estén relacionados con factores que afecten a la salud, la educación y el desarrollo, así como, aspectos de carácter económico. De esta forma, en este primer modelo, con relación a la salud se utilizó, el gasto en salud como porcentaje del PIB y las muertes por cada 1000 personas. Para el sector de educación y desarrollo, el gasto en educación como porcentaje del PIB y el gasto en I+D como porcentaje del PIB. Finalmente, para los aspectos de carácter económico el PIB, los impuestos recaudados y la deuda pública como porcentaje del PIB.

El periodo muestral objeto de análisis fue establecido en función de la disponibilidad de los datos de los diferentes objetivos y variables explicativas, como se puede observar en la siguiente figura:

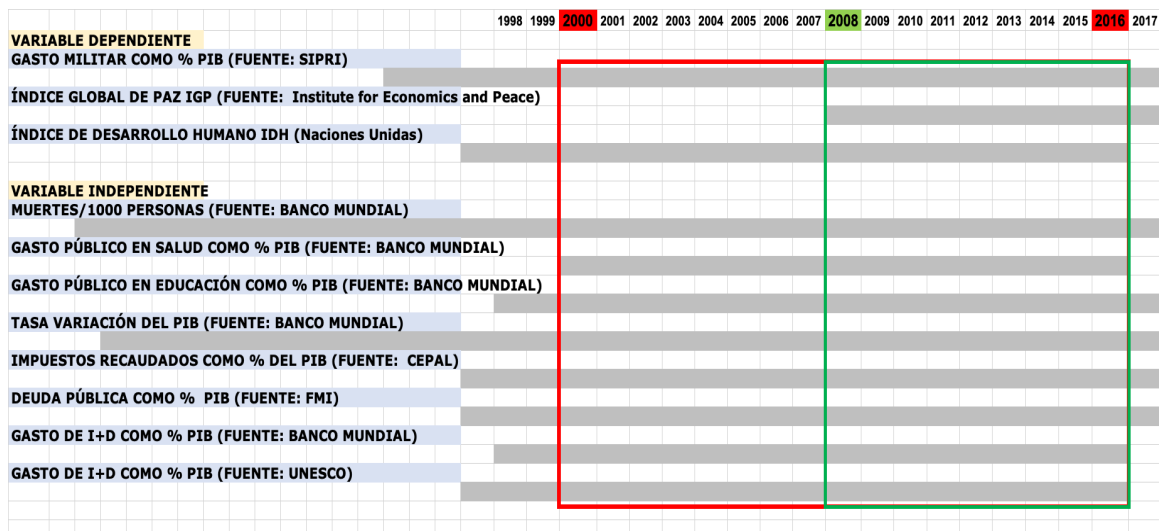


Figura 2.1 Periodo muestral de la investigación

Fuente: Elaboración propia en función de los datos de SIPRI, Banco Mundial, CEPAL y UNESCO

La Figura 2.1 permite visualizar que, por el lado de los objetivos, el IGP aparece desde 2008 y, al inicio de esta investigación, existían datos publicados hasta 2016. Una situación similar sucede con los datos disponibles para el gasto público en salud e investigación y desarrollo, cuyos datos estaban disponibles hasta el 2016. Consecuentemente, en función de lo que se observa en la Figura 2.1, el periodo muestral para la investigación se estableció en 2008-2016. Así, además de ser el periodo común en el que se dispone de la información de todos los objetivos y variables explicativas consideradas, también abarca los principales años relativos a la Gran Recesión.

En relación con los países, se realizó un análisis similar con los miembros de la OTAN seleccionándose aquellos de los que se dispusiera la información necesaria para la aplicación del modelo. De este proceso se obtuvieron los siguientes resultados:

La Tabla 2.1 evidencia que para algunos países que conforman la OTAN no existen los datos completos en el periodo de estudio. Montenegro no dispone de toda la información para el GM y Luxemburgo no muestra información para el IGP. Ante esta realidad, se decide no contemplar a estos países a fin de no acortar el periodo de estudio. Por tanto, serán parte de este trabajo 27 países: Albania, Bélgica, Bulgaria, Canadá, Croacia, República Checa, Dinamarca, Estonia, Francia, Alemania, Grecia, Hungría, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Países Bajos, Noruega, Polonia, Portugal, Rumania, Eslovaquia, Eslovenia, España, Turquía, Reino Unido y Estados Unidos.

*Tabla 2.1 Países de la OTAN y datos disponibles para el estudio*

GM	IDH	IGP	PAÍSES CON DATOS VÁLIDOS OTAN
ALBANIA	ALBANIA	ALBANIA	✓
ALEMANIA	ALEMANIA	ALEMANIA	✓
BÉLGICA	BÉLGICA	BÉLGICA	✓
BULGARIA	BULGARIA	BULGARIA	✓
CANADÁ	CANADÁ	CANADÁ	✓
CROACIA	CROACIA	CROACIA	✓
DINAMARCA	DINAMARCA	DINAMARCA	✓
ESLOVAQUIA	ESLOVAQUIA	ESLOVAQUIA	✓
ESLOVENIA	ESLOVENIA	ESLOVENIA	✓
ESPAÑA	ESPAÑA	ESPAÑA	✓
ESTADOS UNIDOS	ESTADOS UNIDOS	ESTADOS UNIDOS	✓
ESTONIA	ESTONIA	ESTONIA	✓
FRANCIA	FRANCIA	FRANCIA	✓
GRECIA	GRECIA	GRECIA	✓
HUNGRÍA	HUNGRÍA	HUNGRÍA	✓
ISLANDIA	ISLANDIA	ISLANDIA	✓
ITALIA	ITALIA	ITALIA	✓
LETONIA	LETONIA	LETONIA	✓
LITUANIA	LITUANIA	LITUANIA	✓
LUXEMBURGO	LUXEMBURGO	LUXEMBURGO	
MONTENEGRO	MONTENEGRO	MONTENEGRO	
NORUEGA	NORUEGA	NORUEGA	✓
PAÍSES BAJOS	PAÍSES BAJOS	PAÍSES BAJOS	✓
POLONIA	POLONIA	POLONIA	✓
PORTUGAL	PORTUGAL	PORTUGAL	✓
REINO UNIDO	REINO UNIDO	REINO UNIDO	✓
REPÚBLICA CHECA	REPÚBLICA CHECA	REPÚBLICA CHECA	✓
RUMANÍA	RUMANÍA	RUMANÍA	✓
TURQUÍA	TURQUÍA	TURQUÍA	✓

27 PAÍSES

Países con información incompleta o no disponible

*Fuente: Elaboración propia con los datos de SIPRI, Banco Mundial, CEPAL y UNESCO*

Definidas las variables, países y periodo de estudio, para las fuentes de datos se establecieron los siguientes criterios:

- 1) **Seriedad y fiabilidad de las fuentes:** Las fuentes deben ser reconocidas y aceptadas internacionalmente. Preferentemente, deben ser referidas o utilizadas en trabajos con una rigurosidad científica similar al presente.

- 2) **Cobertura del grupo de países considerados en el estudio:** Las fuentes de las variables y datos deben poseer información de los grupos de países seleccionados para el estudio.
- 3) **Cobertura del periodo de estudio:** Las variables y datos deben estar disponibles para el periodo de estudio 2008-2016.
- 4) **Estandarización en su cálculo:** El cálculo de los datos debe ser estandarizado para todos los países y a lo largo del periodo de estudio considerado.

Las referencias fundamentales de las fuentes de información para las diferentes variables utilizadas en el estudio son expuestas a continuación. Se evidencian la seriedad y fiabilidad de las fuentes, cobertura del periodo, grupos de países en estudio y la estandarización en su cálculo.

- **Instituto Internacional de Investigación para la Paz de Estocolmo**

El *Stockholm International Peace Research Institute* (SIPRI), es un instituto internacional independiente dedicado a investigar acerca de los conflictos, armamento, control de armas y desarme. Fue establecido en 1966, provee datos, análisis y recomendaciones basado en fuentes de acceso libre para los generadores de políticas, investigadores, medios y público interesado. Ubicado en Estocolmo es calificado entre las más respetables referencias a nivel mundial<sup>2</sup>. La base de datos más aceptada para estudios relacionados con el gasto militar es la generada por este Instituto.

- **Organización de las Naciones Unidas / Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)**

---

<sup>2</sup> <https://www.sipri.org/about>

Las Naciones Unidas es una organización creada oficialmente el 24 de octubre de 1945, después de que la mayoría de los 51 Estados Miembros signatarios del documento fundacional de la Organización, la Carta de la ONU, la ratificaran. En la actualidad, 193 Estados son miembros de las Naciones Unidas, que están representados en el órgano deliberante, la Asamblea General. Los principales órganos de la ONU son la Asamblea General, Consejo de Seguridad, Consejo Económico y Social, Consejo de Administración Fiduciaria, la Corte Internacional de Justicia y la Secretaría de la ONU. Todos ellos se crearon en 1945 en su fundación.

Como parte de la ONU está el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) presente en unos 170 países y territorios, en los que se trabaja para erradicar la pobreza, reducir las desigualdades y fomentar la resiliencia, de manera que los países mantengan el progreso alcanzado. El PNUD desempeña un papel clave para ayudar a los países a alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible.<sup>3</sup> En esta investigación, el Índice de Desarrollo Humano (IDH) es utilizado como proxy para medir el bienestar. Este índice es aportado anualmente por el PNUD y está disponible para el periodo 2000-2016.

- **Instituto para la Economía y la Paz**

El Instituto para la Economía y Paz (Institute for Economics & Peace) es la fuente de Índice Global de Paz (IGP) que mide el nivel de paz negativa de un país, usando tres dominios: Conflicto Nacional o Internacional en curso, Seguridad y Protección de la Sociedad y la Militarización del País. En cuanto a la interpretación de este índice, cuanto menor sea, mejores son las condiciones de paz interna y externa del país. El indicador está

---

<sup>3</sup> Información obtenida de la página web oficial de la Naciones Unidas <https://www.un.org/es/about-un/index.html>

disponible para el periodo 2008-2016. En este trabajo, el IGP representará al sector de seguridad.

- **Banco Mundial**

El grupo Banco Mundial fue creado en 1944 con sede en la ciudad de Washington. Actualmente está conformado por 189 países miembros y constituye una de las fuentes más importantes de financiamiento y conocimiento para los países en desarrollo. Ofrece una de las bases de datos más completa y aceptada a nivel global y será, precisamente, la fuente de los indicadores para la mayoría de las variables explicativas.

La Tabla 2.2 expone el listado de las fuentes de las variables utilizadas en este capítulo de la investigación, así como el vínculo a sus páginas institucionales:

*Tabla 2.2 Fuentes de las variables para la investigación*

Fuente	Página Institucional	Variable	Sector
Instituto Internacional de Investigación para la Paz de Estocolmo.	<a href="https://www.sipri.org/databases/milex">https://www.sipri.org/databases/milex</a>	Gasto militar en USD como % PIB	Defensa/Militar
Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).	<a href="http://hdr.undp.org/en/data">http://hdr.undp.org/en/data</a>	Índice de Desarrollo Humano (IDH)	Desarrollo/Bienestar
Instituto para la Economía y la Paz	<a href="http://visionofhumanity.org/indexes/global-peace-index/">http://visionofhumanity.org/indexes/global-peace-index/</a>	Índice Global de Paz (IGP)	Seguridad
		Muertes /1000 personas	Salud
		Gasto en Salud como % PIB	Salud
		Gasto en Educación como % PIB	Educación
Banco Mundial	<a href="https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators">https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators</a>	PIB	Económica
		Impuestos Recaudados como % PIB	Económica
		Deuda Pública como % PIB	Económica
		Gasto en I+D como % PIB	Desarrollo/Educación

*Fuente: Elaboración propia*

Para el grupo de 27 países miembros de la OTAN se consideraron las 3 funciones objetivo y 7 variables explicativas que se describen a continuación en la Tabla 2.3:

*Tabla 2.3 Funciones objetivo y variables explicativas para el grupo de 27 países miembros de la OTAN*

Sector	Variable	Notación	Descripción
Defensa/Militar	Gasto militar en USD como % PIB	y <sub>1</sub>	Cantidad de recursos que asigna un país para el gasto militar expresado como porcentaje del PIB.
Desarrollo/Bienestar	Índice de Desarrollo Humano (IDH)	y <sub>2</sub>	Medida resumida del logro promedio en dimensiones clave del desarrollo humano: una vida larga y saludable, tener conocimiento y tener un nivel de vida decente.
Seguridad	Índice Global de Paz (IGP)	y <sub>3</sub>	Mide el nivel de paz negativa de un país; mientras menor, mejores son las condiciones de paz interna y externa del país.
Salud	Muertes /1000 personas	x <sub>1</sub>	Cantidad de personas fallecidas en un país por cada mil habitantes /Banco Mundial.
Salud	Gasto en Salud como % PIB	x <sub>2</sub>	Cantidad de recursos que asigna un país para salud expresado como porcentaje del PIB /Banco Mundial.
Educación	Gasto en Educación como % PIB	x <sub>3</sub>	Cantidad de recursos que asigna un país para educación como porcentaje del PIB /Banco Mundial.
Económica	PIB	x <sub>4</sub>	Suma del valor agregado bruto de todos los productores residentes en la economía más los impuestos sobre los productos y menos las subvenciones no incluidas en el valor de los productos /Banco Mundial.
Económica	Impuestos Recaudados como % PIB	x <sub>5</sub>	Cantidad de recursos que recauda un país a partir de los impuestos expresado como porcentaje del PIB /Banco Mundial.
Económica	Deuda Pública como % PIB	x <sub>6</sub>	Cantidad de recursos que adeuda un país expresado como porcentaje del PIB /Banco Mundial.
Desarrollo/ Educación	Gasto en I+D como % PIB	x <sub>7</sub>	Cantidad de recursos que asigna un país para el gasto de investigación y desarrollo expresado como porcentaje del PIB /Banco Mundial.

*Fuente: Elaboración propia*

Por su importancia dentro del estudio realizamos una precisión sobre el alcance de los objetivos:

- El GM incluye los gastos corrientes y de capital relacionados con (i) las fuerzas armadas, incluidas las fuerzas de mantenimiento de la paz; (ii) ministerios de defensa y otras agencias gubernamentales involucradas en proyectos de defensa; (iii) fuerzas paramilitares previstas para operaciones militares; y (iv) actividades espaciales militares. Estos costes incluyen todos los gastos laborales para el personal militar y civil activo y los gastos para pensiones y servicios sociales de jubilados; operaciones y mantenimiento, adquisiciones, investigación y desarrollo militar, infraestructura militar (incluida la construcción) y ayuda militar.
- El IDH es el principal indicador utilizado para medir el bienestar y el desarrollo entre países. Según el PNUD, se introdujo en 1990 con el fin de brindar una perspectiva novedosa para la mejora del bienestar de la humanidad. Su objetivo es ayudar a la expansión de la riqueza humana, en lugar de la riqueza económica únicamente. Se centra en las personas, sus oportunidades y decisiones, resumiendo tres dimensiones claves: una vida larga y saludable, la adquisición de conocimientos y la capacidad de alcanzar un nivel de vida digno. Así, el IDH se calcula como una media geométrica de los índices normalizados para cada una de sus tres dimensiones (Ghazaliana y Mohammad, 2020).
- El IGP mide la paz relativa de los Estados del mundo y clasifica a los países de acuerdo con su nivel de paz, definido como la ausencia de violencia. El IGP se determina utilizando información de tres áreas de paz: conflicto activo nacional o internacional, seguridad y protección de la sociedad y militarización nacional. Un IGP más bajo indica mejores condiciones internas y externas para los países. El IGP es el índice más novedoso, disponible desde 2008. Sin embargo, ya se había utilizado

en obras en las que se investigaba la seguridad, la protección y los factores socioeconómicos dentro de los países (Kabát, Filip y Filipová, 2017).

Los estadísticos para las variables del modelo se proporcionan en la Tabla 2.4. Según las estadísticas obtenidas, el coeficiente de variación de Pearson sugiere que el IDH y el PIB tienen los promedios más representativos. La deuda pública y el gasto I + D, medidos ambos como porcentajes del PIB, y el GM tienen los promedios menos representativos, lo que implica que se presenta una mayor dispersión entre los valores de las variables. En cierto modo, esto se debe a las diferentes características que tienen los países de la OTAN. Además, los rangos de las variables difieren notablemente, aunque el GM, el IDH y el IGP muestran menos variación. Finalmente, las variables muestran una marcada asimetría, en particular positiva, es decir los valores a la derecha del promedio están más separados. Esto podría significar que las soluciones eficientes tenderían a alcanzar sus valores máximos para encontrar la Frontera de Pareto para el modelo multiobjetivo.

*Tabla 2.4 Estadísticos descriptivos de las variables*

Variable	Notación	Promedio	DS	CV	Mín	Máx	Simetría
Gasto militar en USD como % PIB	$y_1$	1.549	0.720	0.460	0.000	4.657	1.526
Índice de Desarrollo Humano (IDH)	$y_2$	0.862	0.050	0.060	0.714	0.951	0.474
Índice Global de Paz (IGP)	$y_3$	1.668	0.292	0.170	1.099	2.7140	0.885
Muertes /1000 personas	$x_1$	9.981	2.324	0.230	5.814	15.300	0.381
Gasto en Salud como % PIB	$x_2$	8.446	2.397	0.280	4.139	17.073	1.087
Gasto en Educación como % PIB	$x_3$	5.191	1.053	0.200	2.800	7.400	0.095
PIB	$x_4$	26.357	1.836	0.070	23.133	30.463	0.109
Impuestos Recaudados como % PIB	$x_5$	19.167	5.596	0.290	7.920	37.753	0.461
Deuda Pública como % PIB	$x_6$	65.682	35.356	0.540	4.487	183.453	0.803
Gasto en I+D como % PIB	$x_7$	1.477	0.753	0.510	0.383	3.170	0.415

*Fuente: Elaboración propia*

### 2.1.2 Formulación del modelo multiobjetivo.

Con el fin de analizar el comportamiento eficiente de los países respecto de los tres objetivos considerados, siendo nuestras variables de decisión las anteriormente mencionadas, la bibliografía consultada nos muestra que los modelos multiobjetivo son los apropiados para conseguir con éxito nuestra pretensión. En este sentido, una de las aportaciones de este trabajo de investigación se centró en plantear y resolver un nuevo modelo multiobjetivo que incluya tanto objetivos como restricciones no consideradas en otros trabajos previos. Para ello, se hace necesario tener una buena estimación de nuestros objetivos, así como de las restricciones que afectarán al modelo, en función de las variables de decisión. Todo ello se detalla con mayor profundidad a continuación.

#### Estimación de las funciones objetivo.

Las funciones objetivo que se consideran son el Gasto Militar (GM), el Índice de Desarrollo Humano (IDH), como representante del bienestar y desarrollo de un país y el Índice General de Paz (IGP), como indicador del nivel de paz de los diferentes países objeto de análisis.

Por tanto, será necesario determinar las ecuaciones para los objetivos, en función de nuestras variables de decisión: mortalidad (medido como muertes por cada 1000 habitantes), gasto en salud (como porcentaje del PIB), gasto en educación (como porcentaje del PIB), impuestos recaudados (como porcentaje del PIB), deuda pública (como porcentaje del PIB) y gastos de investigación y desarrollo (como porcentaje del PIB). Además, para trabajar con

valores adimensionales y evitar tanto problemas de escala, como de medida en todas las variables de decisión, excepto muertes y PIB, se utilizó el porcentaje sobre el PIB. También, se utilizó en todos los modelos el logaritmo del PIB (LPIB) para evitar problemas de heteroscedasticidad y para estimar las elasticidades correspondientes.

El procedimiento de estimación de las diferentes ecuaciones del problema multiobjetivo se realizó mediante datos de panel con efectos fijos (Greene, 2008). La ventaja de la utilización de este tipo de modelos de datos de panel se basa, fundamentalmente, en la posibilidad de estudiar el comportamiento de los países de la OTAN a lo largo del periodo muestral objeto de análisis, obteniendo relaciones de causalidad entre diferentes variables (Baltagi, 2005). En concreto, este tipo de modelos ha sido utilizado para determinar, por ejemplo, las relaciones entre el GM y las variables relacionadas con el crecimiento económico, el desarrollo y el bienestar (Chang, Huang, y Yang, 2011; Kollias, Mylonidis, y Paleologou, 2007; D'Agostino, Dunne, y Pieroni, 2018).

En la formulación de modelos de datos de panel, las variables dependientes,  $y_k^{it}$  se pueden expresar en función de las características de un determinado país en cada momento del tiempo, recogidas en las variables  $x_j^{it}$ . Así, bajo el supuesto de linealidad, ausencia de heteroscedasticidad y de correlación temporal y espacial de la perturbación aleatoria, estos modelos se pueden expresar de la siguiente manera:

$$y_k^{it} = \sum_{j=1}^7 a_{kj} x_j^{it} + \alpha_k + \mu_k^{it} \quad (1)$$

donde,  $\mu_k^{it} \sim \text{i. i. d. } (0, \sigma^2)$ ,  $\text{Cov}(\mu_k^{it}, \mu_k^{ls}) = 0; \forall i \neq l \text{ y } \forall t \neq s$

En este caso,  $i$  se refiere al país y  $t$  representa el año. Las  $k$  variables dependientes, se corresponden con los objetivos correspondientes al problema multiobjetivo. Es decir,  $y_1 = \text{GM}$ ;  $y_2 = \text{IDH}$ ; e  $y_3 = \text{IGP}$ . Así,  $y_1^{it}$  indica el gasto militar del  $i$ -ésimo país en el año  $t$ .

El término  $a_{kj}$  representa los coeficientes obtenidos con las estimaciones econométricas para cada una de nuestras variables explicativas  $x_j^{it}$  (véase Tabla 2.5), con la notación  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$  y  $x_7$ . La ecuación considera también un componente idiosincrático  $\alpha_k$ . Finalmente,  $\mu_k^{it}$  representa las perturbaciones del modelo. En este caso, se supone que es un ruido blanco que está independiente e igualmente distribuido con media nula y varianza constante e igual a  $\sigma^2$ .

En este problema, el componente idiosincrático se considera un parámetro constante estimado como un interceptor diferente para cada variable. Además, se estimó un modelo de datos de panel con efectos fijos en lugar de efectos aleatorios por dos razones. La primera, basada en el hecho de que se consideró todos los países de la OTAN con información disponible (es decir, toda la población) y no una muestra de países para hacer inferencia al resto. La segunda, se basa en los resultados obtenidos de los contrastes de robustez de eficiencia de los parámetros estimados a partir del test de Breush y Pagan y del test de Hausman, los cuales, para un nivel de significación del 5%, permiten aceptar la hipótesis nula de no existencia de efectos aleatorios. Respecto del método de estimación utilizado, éste se apoya en la aplicación de mínimos cuadrados ordinarios con una sola variable ficticia (denominado *pooled*) o un modelo de efectos fijos. La estimación del modelo se realizó utilizando el software econométrico PcGive del OxMetrics (Doornik, 2002).

Una vez corregidos los problemas de heteroscedasticidad y autocorrelación detectados, las estimaciones obtenidas para los parámetros de todas las variables se muestran en la Tabla 2.5:

*Tabla 2.5 Determinantes del GM, IDH e IGP para los países de la OTAN (modelo de datos de panel con efectos fijos, periodo 2008-2016)*

Variable	Notación	GM (SD)	IDH (SD)	IGP (SD)
Muertes/1000 personas	$x_1$	-0.003961 (0.042)	-0.000349 (0.002)	-0.015672 (0.022)
Gasto en Salud como % PIB	$x_2$	0.207197 ** (0.094)	0.003598 (0.004)	0.015668 (0.048)
Gasto en Educación como % PIB	$x_3$	0.042206 (0.111)	0.005010 (0.005)	-0.026371 (0.050)
LPIB	$x_4$	0.152166 ** (0.072)	0.005149 (0.003)	0.059264 (0.037)
Impuestos Recaudados como % PIB	$x_5$	-0.004669 (0.018)	0.001826 (0.001)	-0.009082 (0.007)
Deuda Pública como % PIB	$x_6$	-0.003122 (0.003)	0.000005 (0.0001)	-0.000446 (0.001)
Gasto en I+D como % PIB	$x_7$	-0.61 *** (0.188)	0.031807 *** (0.008)	-0.200546 *** (0.074)
Constante		-3.195310 * (1.915)	0.591451 *** (0.094)	0.763754 (0.821)
R <sup>2</sup>		0.4207764	0.7004555	0.3726441
Número de países		27	27	27
Número total de observaciones		243	243	243
Número observaciones por país		9	9	9

\*\*\* significativas al 1%, \*\* al 5%, \* al 10%. La desviación típica (SD, Standard Deviation) se muestra en paréntesis.

*Fuente: Elaboración propia*

De acuerdo con los p-valores obtenidos para el estadístico t, no todas las variables son estadísticamente significativas. En concreto, las variables más relevantes para el GM son el LPIB, gastos en salud y los gastos de I+D. Además, los gastos en I+D también son los que más influencia están ejerciendo en el IDH y en el IGP. El análisis de la influencia de cada variable explicativa revela que el aumento en los gastos en I+D contribuye en la mejora de todos los objetivos (ya que, los valores estimados de esta variable son negativos para el GM y el IGP, que se minimizarán, y positivos para el IDH, que se maximizará). Las variables deuda pública e impuestos recaudados se comportan de manera similar. Los valores negativos estimados para la variable muertes/1000 personas implican que su reducción

conferiría, por ejemplo, un aumento del IDH, manteniendo constantes las restantes variables. Dados los valores estimados, la variable gasto en educación contribuye en la mejora del IDH y del IGP, pero no el GM. Finalmente, los valores LPIB y gasto en salud son positivos para todas las funciones objetivo.

En consecuencia, nuestras funciones objetivo vienen expresadas por:

$$f_1 = -0.003961 x_1 + 0.207197 x_2 + 0.042206 x_3 + 0.152166 x_4 - 0.004669 x_5 - 0.003122 x_6 - 0.610000 x_7$$

$$f_2 = -0.000349 x_1 + 0.003598 x_2 + 0.005010 x_3 + 0.005149 x_4 + 0.001826 x_5 + 0.000005 x_6 + 0.031807 x_7$$

$$f_3 = -0.015672 x_1 + 0.015668 x_2 - 0.026371 x_3 + 0.059264 x_4 - 0.009082 x_5 - 0.000446 x_6 - 0.200546 x_7$$

### **Estimación de las restricciones.**

Después de estimar las ecuaciones correspondientes a las funciones objetivo, para poder plantear el modelo multiobjetivo es necesario estimar las ecuaciones correspondientes a las restricciones. Así, para poder establecer las condiciones que deberían cumplir nuestras variables de decisión en nuestro conjunto factible, e incluir la situación de todos los países como factibles, incorporamos dos tipos de condiciones. Por un lado, restricciones que relacionan las variables de decisión o explicativas entre sí y, por otro, las cotas. Para el primer tipo de restricciones, se determinaron las relaciones de cada una de las variables de decisión en función de las restantes, estas constituyen nuestras funciones de restricción. A partir de las mismas, y con el fin de determinar los términos independientes de dichas restricciones, tanto en sus valores superiores como inferiores, se evaluaron todos los países en cada uno de los años y se emplearon los valores mínimos y máximos obtenidos tras dicha evaluación. Junto con estas restricciones, también se incluyeron otras que reflejan el comportamiento mantenido por todos los países a lo largo de los años.

En lo relativo a las cotas, tanto inferiores como superiores, son simplemente los valores obtenidos para cada variable en todos los países y años de estudio. Veamos estos procesos con algo más de detenimiento.

Al igual que con los objetivos, para la estimación de las ecuaciones correspondientes a las restricciones también se utilizó modelos de datos de panel de efectos fijos. Los resultados de estas estimaciones se ofrecen en la Tabla 2.6:

*Tabla 2.6 Parámetros estimados para las restricciones del modelo de programación multiobjetivo*

<b>Restricción</b>	<b><math>x_1</math></b>	<b><math>x_2</math></b>	<b><math>x_3</math></b>	<b><math>x_4</math></b>	<b><math>x_5</math></b>	<b><math>x_6</math></b>	<b><math>x_7</math></b>	<b>Constante</b>
Muertes/1000 personas	1.000	-0.299	0.368	0.314	-0.119	0.018	1.238	-18.433
Gasto en Salud (% PIB)	-0.109	1.000	-0.232	-0.435	0.053	-0.019	-1.741	8.147
Gasto en Educación (% PIB)	0.042	-0.062	1.000	0.284	-0.039	-	-0.815	-10.507
LPIB	0.125	-0.454	0.739	1.000	-	-	-0.449	-26.882
Impuestos Recaudados (% PIB)	-0.702	0.924	-1.927	-	1.000	-0.051	-2.533	-8.855
Deuda Pública (% PIB)	3.666	-11.311	4.682	-	-1.790	1.000	21.739	15.982
Gasto en I+D (% PIB)	0.049	-0.191	-0.220	-0.060	-0.018	0.005	1.000	2.384

El p-valor para el que las variables son significativas es 0.15

*Fuente: Elaboración propia*

En consecuencia, las ecuaciones estimadas para cada una de las restricciones ( $g_i$  asociada a la estimación de  $x_i$ ) del modelo multiobjetivo son:

$$g_1 = x_1 - (0.299 x_2 - 0.368 x_3 - 0.314 x_4 + 0.119 x_5 - 0.018 x_6 - 1.238 x_7 + 18.433)$$

$$g_2 = x_2 - (0.109 x_1 + 0.232 x_3 + 0.435 x_4 - 0.053 x_5 + 0.019 x_6 + 1.741 x_7 - 8.147)$$

$$g_3 = x_3 - (0.042 x_1 + 0.062 x_2 - 0.284 x_4 + 0.039 x_5 + 0.815 x_7 + 10.507)$$

$$g_4 = x_4 - (0.125 x_1 + 0.454 x_2 - 0.739 x_3 + 0.449 x_7 + 26.882)$$

$$g_5 = x_5 - (-0.702 x_1 - 0.924 x_2 + 1.927 x_3 + 0.051 x_6 + 2.533 x_7 + 8.855)$$

$$g_6 = x_6 - (3.666 x_1 + 11.311 x_2 - 4.682 x_3 + 1.790 x_5 - 21.739 x_7 - 15.982)$$

$$g_7 = x_7 - (0.049 x_1 - 0.191 x_2 + 0.220 x_3 + 0.060 x_4 + 0.018 x_5 - 0.005 x_6 - 2.384)$$

Con el objetivo de hacer factibles los comportamientos de los países, las funciones para las restricciones estimadas se evaluaron en todo el conjunto de datos. Es por ello por lo que es necesario establecer por cada ecuación de restricción, dos cotas:

$$L_j^{inf} \leq \sum_r c_{jr} x_r \leq L_j^{sup}; \forall j \in \{1, 2, \dots, 7\}$$

donde  $L_j^{inf}$  y  $L_j^{sup}$  representan los valores mínimos y máximos necesarios para formular nuestras restricciones de tal forma que sólo contengan su expresión lineal, es decir, la constante de cada función de restricción queda incorporada en los valores  $L_j^{inf}$  y  $L_j^{sup}$ . Así, estos valores son los que se muestran en la Tabla 2.7:

*Tabla 2.7 Valores límites de las restricciones*

<i>j</i>	<b>Límite inferior</b> ( $L_j^{inf}$ )	<b>Límite superior</b> ( $L_j^{sup}$ )
1	13.448	22.297
2	-10.983	-4.614
3	8.956	12.709
4	23.810	29.838
5	0.394	24.775
6	-75.112	78.793
7	-3.104	-1.122

*Fuente: Elaboración propia*

Además de estas restricciones, se incluye una más, que establece que los gastos en salud son iguales o superiores a los gastos en educación. El motivo de esta restricción es reflejar el comportamiento observado de los países en estudio, en los cuales, el gasto en salud siempre es superior al de educación. Además, estos dos sectores son competidores de recursos con el GM.

En lo relativo a las cotas de las variables independientes,

$$N_j^{Min} \leq x_j \leq N_j^{Max}; \forall j \in \{1, 2, \dots, 7\}$$

fueron obtenidas analizando el comportamiento de las variables de decisión de los distintos países a lo largo de los años y permitiendo una holgura global mediante la fijación de los valores inferiores y superiores, Tabla 2.8.

*Tabla 2.8 Cotas de las variables*

Variable	Cota inferior ( $N_j^{Min}$ )	Cota superior ( $N_j^{Max}$ )
$x_1$	5.814	15.300
$x_2$	4.140	17.073
$x_3$	2.800	7.400
$x_4$	23.133	30.463
$x_5$	7.920	37.754
$x_6$	4.487	183.453
$x_7$	0.383	3.170

*Fuente: Elaboración propia*

### Modelo Multiobjetivo.

Los resultados del análisis y las estimaciones econométricas nos permiten plantear nuestro modelo multiobjetivo que considera tanto las funciones objetivo [GM ( $f_1$ ), IDH ( $f_2$ ) y IGP ( $f_3$ )] como las restricciones comentadas. En el planteamiento de este primer modelo multiobjetivo se incluyen objetivos con diferente carácter. Así, por un lado, se maximizó el índice de desarrollo humano (IDH), ya que, es un indicador de calidad de vida, bienestar y progreso de los países (al tener en cuenta variables como la esperanza de vida, la educación y el nivel de alfabetización de un país) y puede ayudar en las políticas públicas diseñadas por los diferentes países. En particular, se plantea maximizar este índice, con el fin de mostrar cómo se pueden mejorar las necesidades básicas de las personas y, por ende, de los países. Por otro lado, se minimizó el índice general de paz (IGP), ya que lo que se desea es que los países logren el mayor nivel de seguridad posible, puesto que eso contribuirá al bienestar de la sociedad. Según está calculado el IGP, cuanto menor sea, mejor situación ofrece el país, razón por la cual se lo incluyó como objetivo a minimizar. Finalmente, como se ha comentado previamente, existe una controversia respecto al carácter del GM, ya que, según unos autores se debe minimizar y según otros se va a maximizar. En este trabajo, con el fin

de reflejar las posibles situaciones que puedan acaecer, se incluyó los dos puntos de vista. En este primer modelo, se planteó como objetivo a minimizar, para reflejar situaciones más pacifistas y con menos situaciones de conflictos. Sin embargo, en los modelos propuestos para el apartado 2.2 de este capítulo, así como en el capítulo 3 de esta tesis, con el fin de reflejar situaciones que impliquen lo contrario, se programó como un objetivo a maximizar. Esto mostrará la adaptabilidad del modelo multiobjetivo propuesto a los diferentes escenarios reales que se puedan presentar.

Formalmente, el modelo multiobjetivo se puede expresar como:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Min GM} = \text{Min } y_1 = \sum_{j=1}^7 a_{j1}x_j + b_1 \\ \text{Max IDH} = \text{Max } y_2 = \sum_{j=1}^7 a_{j2}x_j + b_2 \\ \text{Min IGP} = \text{Min } y_3 = \sum_{j=1}^7 a_{j3}x_j + b_3 \\ sa: \left\{ \begin{array}{l} L_j^{inf} \leq \sum_r c_{jr}x_r \leq L_j^{sup}; \forall j \in \{1,2, \dots, 7\} \\ N_j^{Min} \leq x_j \leq N_j^{Max}; \forall j \in \{1,2, \dots, 7\} \\ x_j \geq 0 \forall j; y_1 \geq 0, 0 \leq y_2 \leq 1, y_3 \geq 1 \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (2)$$

Donde:

$a_{jk}$ : Coeficiente de la ecuación de  $y_k$  respecto a  $x_j \forall j, k$  según Tabla 2.5.

$b_k$ : Constante de la ecuación de  $y_k \forall k$  según Tabla 2.5.

$c_{jr}$ : Coeficientes de las restricciones según Tabla 2.6.

$L_j^{inf}; L_j^{sup}$ : Límite inferior y superior de las restricciones según Tabla 2.7.

$N_j^{Min}; N_j^{Max}$ : Cotas mínimas y máximas de las variables de decisión según Tabla 2.8.

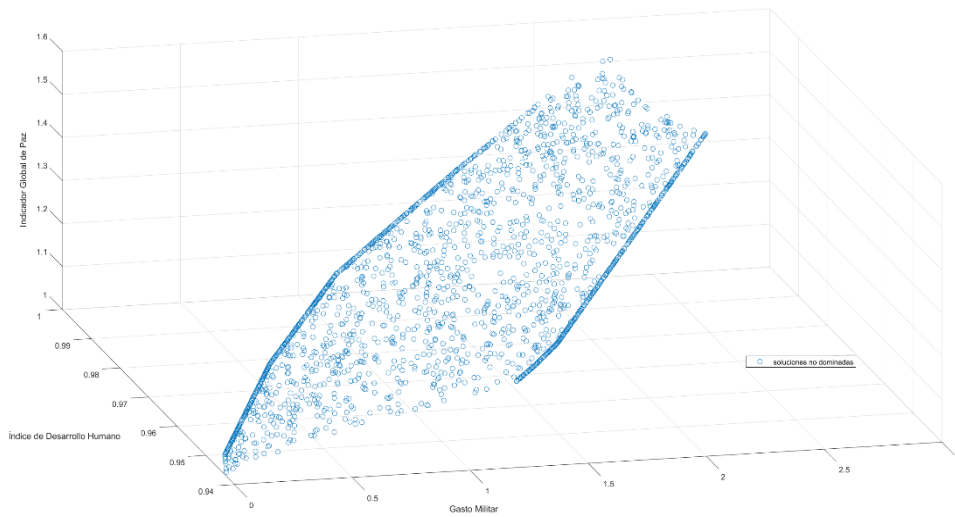
Formulado nuestro problema multiobjetivo, su proceso de resolución dependerá de los intereses que tengamos en su estudio. En nuestro caso deseamos analizar los comportamientos eficientes que nos aporta el modelo.

Recordemos que una solución es eficiente, en el sentido de Pareto, cuando no existe otra solución que mejore todos los objetivos a la vez. En consecuencia, una solución será eficiente cuando para mejorar un objetivo, obligatoriamente, deberemos empeorar en otro. Es evidente que podemos hablar de dichas soluciones eficientes tanto en el espacio de variables de decisión como en el de objetivos. En nuestro caso, hicimos el análisis en los dos espacios, pero fue representable solamente en el espacio de objetivos debido a la dimensión. El conjunto de todas las soluciones eficientes es denominada Frontera de Pareto.

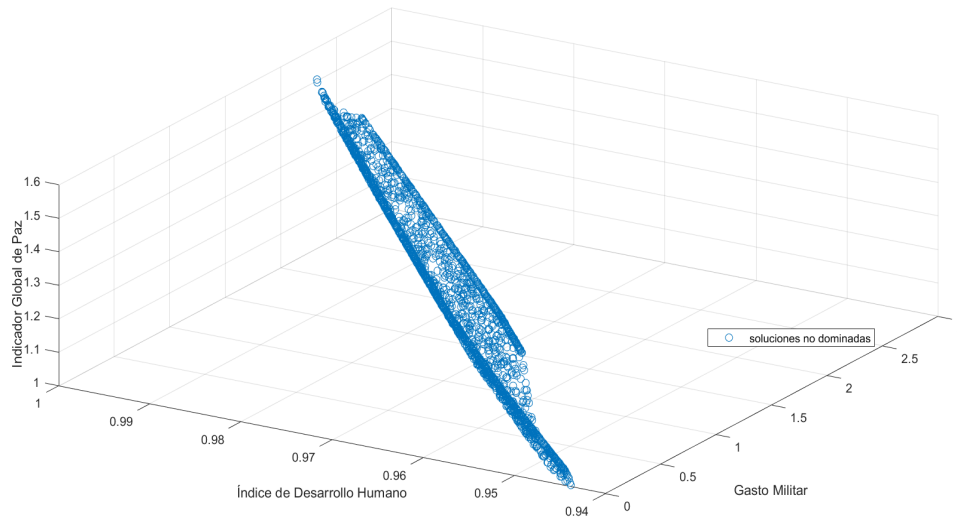
En consecuencia, es conveniente la determinación de una buena estimación de la Frontera de Pareto. Una vez estipulada la información que deseamos extraer de nuestro modelo multiobjetivo, deben ser analizados los procedimientos para su obtención. En este caso, al ser un problema lineal, sus soluciones pudieron ser obtenidas por procedimientos de búsqueda exacta debido a los tiempos de computación. Por este motivo, se optó por dicha línea en detrimento de los métodos metaheurísticos, que también hubieran tenido validez en el caso de tiempos de computación muy superiores.

En la estimación de la Frontera Eficiente se usó una combinación de técnicas tradicionales de programación multiobjetivo, como son el método de las ponderaciones y el método de la restricción extendido con el fin de asegurar la eficiencia. Todo ello fue implementado en Matlab (MATLAB 2018), con un proceso iterativo de búsqueda y un sistema de filtrado de soluciones obteniendo un conjunto de 20152 soluciones, identificadas

tanto en el espacio de variables de decisión como de objetivos. La Figura 2.2 muestra la Frontera de Pareto generada.



(a) Una perspectiva de la Frontera de Pareto



(b) Otra perspectiva de la Frontera de Pareto

Figura 2.2 Frontera Eficiente generada para los objetivos de GM, IDH e IGP para los países de la OTAN incluidos en la investigación

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se obtiene los siguientes rangos de variación de nuestros objetivos:

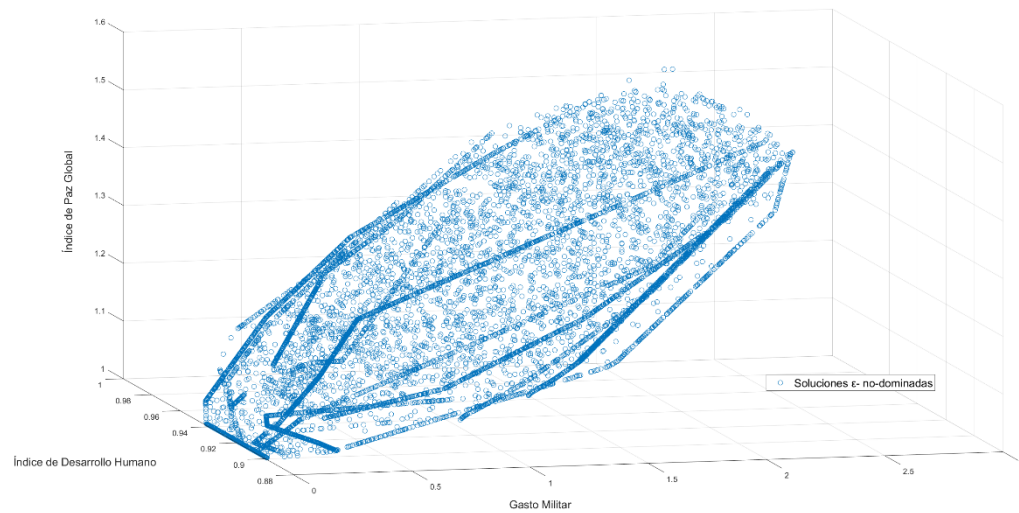
*Tabla 2.9 Rango de variación de los objetivos*

<b>Objetivos</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
GM	0.014	2.726
IDH	0.944	1.000
IGP	1.000	1.506

*Fuente: Elaboración propia*

El análisis del conjunto de datos de la Frontera de Pareto revela un rango de variación coherente, válido y significativo para los valores de la función objetivo. En contraste, los valores de las variables de decisión muestran baja densidad en algunas áreas relevantes, en términos de los valores de referencia utilizados por los países para identificar comportamientos eficientes. Por lo tanto, se consideró el uso del concepto de  $\varepsilon$ -Frontera de Pareto (Engau y Wiecek, 2007).

A partir de la Frontera de Pareto anterior, se estudian los límites de las variables explicativas con densidades más bajas. Para su inclusión en la  $\varepsilon$ - Frontera de Pareto, un punto en particular debe tener una distancia de cualquier otro punto en la Frontera de Pareto que sea menor del 5% del valor de cada una de las funciones objetivo. La aplicación de este enfoque produce una mayor variabilidad de los valores de las variables explicativas, con comportamientos muy cercanos a la eficiencia (Figura 2.3).



*Figura 2.3  $\epsilon$ -Frontera de Pareto*  
*Fuente: Elaboración propia*

### 2.1.3 Resolución y análisis de resultados.

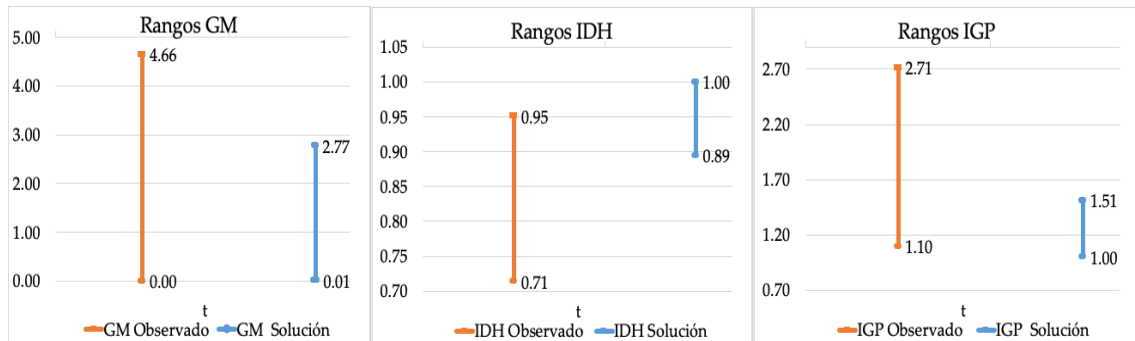
Con la resolución del modelo multiobjetivo se obtiene la  $\epsilon$ -Frontera de Pareto que permite el siguiente análisis de resultados. Las Tablas 2.10 y 2.11 proporcionan información adicional sobre la  $\epsilon$ -Frontera de Pareto Eficiente, es decir, los valores máximo y mínimo que la definen y los límites que definen el conjunto de variables explicativas correspondientes a las soluciones eficientes, respectivamente. Nótese que la resolución del modelo propuesto nos genera una buena estimación de Frontera Eficiente para un problema con múltiples objetivos sin información a priori. Por lo tanto, si se desea obtener una solución en particular, esto dependerá de las preferencias del tomador de decisiones. Además, a pesar de que se podría incrementar el número de objetivos a analizar en este estudio, ese enfoque nos haría perder la imagen gráfica de la  $\epsilon$ -Frontera de Pareto.

*Tabla 2.10 Límites de la  $\epsilon$ -Frontera de Pareto para las funciones objetivo aplicadas a los datos de la OTAN de 27 países*

Variable	Notación	Mín	Máx
Gasto Militar	$y_1$	0.014	2.774
Índice de Desarrollo Humano	$y_2$	0.895	1.000
Índice Global de Paz	$y_3$	1.000	1.512

*Fuente: Elaboración propia*

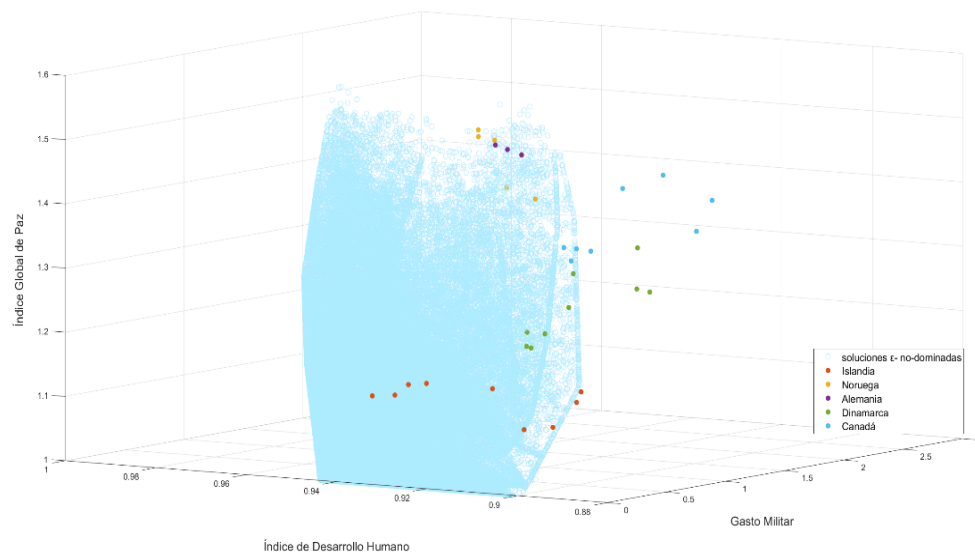
Los límites para las funciones objetivo en la  $\epsilon$ -Frontera de Pareto (Tabla 2.10) y los valores observados correspondientes en los países durante el periodo de estudio (Tabla 2.4) se comparan en la Figura 2.4.



*Figura 2.4 Comparación de rangos del GM, IDH e IGP de la  $\epsilon$ - Frontera Eficiente y el real observado en los países durante el periodo de estudio 2008-2016*

*Fuente: Elaboración propia*

En general, los rangos de variación de las funciones objetivo obtenidos a partir del modelo multiobjetivo son menores que los correspondientes a los valores observados (Figura 2.4). Particularmente, los valores máximos del GM e IGP son inferiores a los observados (2.77 y 1.51, respectivamente), y el valor máximo del IDH es ligeramente superior al observado, que es 1; estos resultados sugieren que optimizando el gasto militar se podrían lograr mejores niveles de paz y de desarrollo humano de un país. En algunos años, países como Noruega, Alemania, Islandia, los Países Bajos, Dinamarca y Canadá se encuentran muy cerca de la  $\epsilon$ -Frontera de Pareto, pero no son parte de la misma (Figura 2.5).



*Figura 2.5 Situaciones de un subconjunto de países con respecto a la  $\epsilon$ -Frontera de Pareto*  
*Fuente: Elaboración propia*

La figura 2.5 proporciona una perspectiva de cómo podrían mejorar los países en los diferentes objetivos y en cuál de ellos tiene mayor espacio de mejora. Se observa que incluso en este grupo de países, con comportamientos cercanos a la eficiencia, el modelo ofrece oportunidades de mejora, por ejemplo, Alemania tiene mayor oportunidad de mejora en el IGP y Canadá en el IDH.

Los valores mínimos presentados para el GM se acercan a la  $\epsilon$ -Frontera de Pareto, difiriendo en 0.01. El valor mínimo del IDH (0.71) es menor que la  $\epsilon$ -Frontera de Pareto (0.89), lo que sugiere que los países con valores más bajos podrían mejorar su desarrollo. El valor mínimo de IGP (1.10) es mayor que la  $\epsilon$ -Frontera de Pareto (1.0), lo que sugiere que los países podrían mejorar las condiciones de paz al reducir sus valores de IGP (Figura 2.4).

Estos resultados indican que los valores del GM de las soluciones eficientes promueven un alivio sobre el presupuesto del Estado, ya que demanda menor uso de recursos para el sector militar, liberando recursos que podrían ser asignados a otros sectores. En el

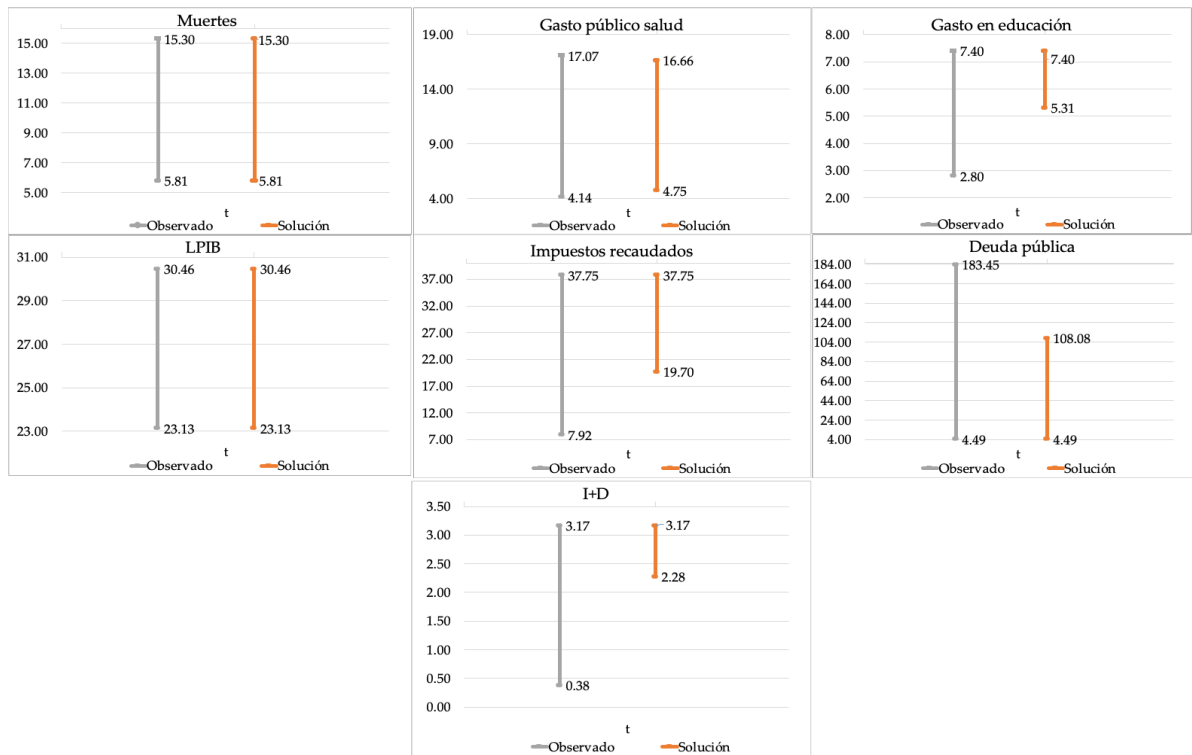
caso del IDH, su rango de variación reducido implica un acortamiento de las diferencias del nivel de desarrollo humano entre países. Asimismo, para el objetivo IGP, el rango estrecho muestra la posibilidad de reducir la dispersión de las condiciones de paz de los países.

*Tabla 2.11 Límites de las variables explicativas correspondientes a la  $\epsilon$ -Frontera de Pareto*

Variable	Notación	Mín	Máx
Muertes/1000 personas	$x_1$	5.814	15.300
Gasto en Salud como % PIB	$x_2$	4.747	16.658
Gasto en Educación como % PIB	$x_3$	5.315	7.400
LPIB	$x_4$	23.133	30.463
Impuestos Recaudados como % PIB	$x_5$	19.704	37.753
Deuda Pública como % PIB	$x_6$	4.487	118.08
Gasto en I+D como % PIB	$x_7$	2.277	3.170

*Fuente: Elaboración propia*

Los rangos de valores para las  $\epsilon$ -soluciones eficientes (Tabla 2.11) y valores observados correspondientes a los países se comparan en la Figura 2.6.



*Figura 2.6 Comparación de los rangos de variación de la solución  $\epsilon$ -eficiente y los valores observados del conjunto de datos*

*Fuente: Elaboración propia*

La figura 2.6 evidencia la falta de homogeneidad entre los comportamientos de las soluciones eficientes y los valores de la muestra. Las variables relacionadas con la mortalidad y el PIB muestran los mismos rangos de variación, es decir, las soluciones eficientes se enmarcan en los límites del comportamiento observado de los países, por lo que, en conjunto, sus niveles de riqueza y mortalidad no aumentarán ni disminuirán. Los otros rangos de variación son más estrechos para las soluciones eficientes que los observados; los valores observados y de la frontera para los gastos en educación, impuestos y gastos de I + D son más altos, consecuentemente los países que alcancen una de las soluciones de la Frontera Eficiente habrá mejorado el acceso a la educación de su población, así como, mejores niveles de tecnología; como contraparte pagarán más impuestos.

A continuación, se analizan las soluciones de la Frontera Eficiente, ordenándolas y agrupándolas según el gasto militar como porcentaje del PIB: el tercio inferior (GM de 0.01 a 0.92; grupo 1), el tercio medio (GM de 0.92 a 1.84; grupo 2) y el tercio superior (GM de 1.84 a 2.77; grupo 3). De esta forma, de 20152 soluciones, 12399 se asignan al grupo 1, 4883 se asignan al grupo 2 y 2870 se asignan al grupo 3. Esta distribución concuerda con la forma de la  $\varepsilon$ -Frontera Pareto, cuya densidad es más relevante para valores de GM inferiores y medios y con menor densidad en los valores más altos. El objetivo de este análisis es visualizar los efectos en el desarrollo humano y la paz a medida que el GM aumenta o disminuye (Figura 2.7). Asimismo, será posible identificar el efecto de estas variaciones en el conjunto de variables de decisión que guiarán las políticas públicas que tenderán a generar efectos en los objetivos (Figura 2.8).

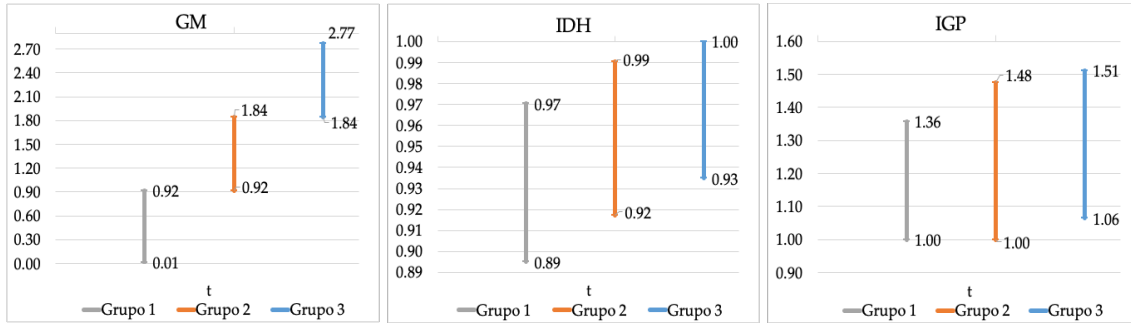


Figura 2.7 Rangos de las funciones objetivo por grupos de la  $\varepsilon$ -Frontera de Pareto, definidos por el GM

Fuente: Elaboración propia

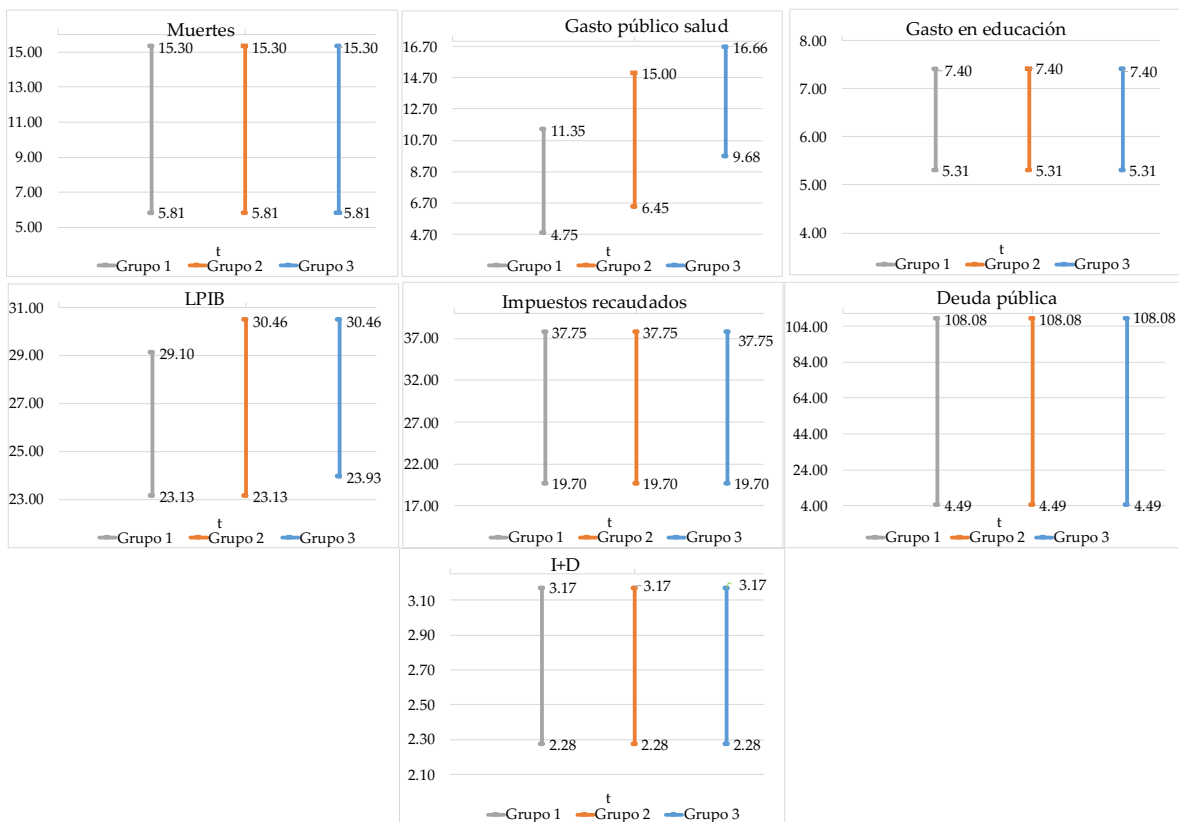


Figura 2.8 Rangos de las variables explicativas  $\varepsilon$ -Frontera Eficiente por grupos definidos por GM

Fuente: Elaboración propia

El grupo 1 proporciona la mejor solución del GM. En este grupo, el IGP presenta un buen rango de condiciones de paz, pero no se alcanza el mejor nivel de desarrollo humano. Para estos valores de función objetivo, los valores obtenidos para las variables explicativas gasto en educación, I + D, impuestos recaudados y deuda pública varían a lo largo del rango

de la  $\varepsilon$ -Frontera Eficiente. Mientras las variables PIB y gasto en salud tienen rangos de variación que excluyen algunos valores superiores.

En el grupo 2 se podrían obtener mejores resultados del IDH a expensas del IGP, en relación con el grupo 1. No obstante, se mantienen los rangos de variación de las variables de decisión que determinan estos valores de la función objetivo, excepto los del gasto en salud y el PIB.

Para el grupo 3, el rango del IGP está casi completo, incluidas las peores condiciones de paz, mientras que el rango del IDH refleja un mejor desarrollo humano, excluyendo los peores valores. Las variables explicativas muestran un comportamiento similar al observado en los otros grupos, manteniendo todos sus rangos de variación excepto el gasto en salud y el PIB, que se desplazan hacia valores superiores.

Para dar coherencia a estos hallazgos analíticos, se realizó un análisis similar para el IGP. Se obtuvieron resultados similares, con rangos que coinciden con los casos analizados anteriormente, a excepción del gasto en salud y el PIB, que se mueven hacia niveles superiores a medida que aumenta el IGP. Finalmente, el IDH no varía significativamente entre los grupos, mientras que los valores del GM son los peores, con la exclusión de los mejores valores a medida que aumenta el IGP.

En comparación con lo estudiado anteriormente, una de las principales aportaciones de este trabajo es proporcionar una  $\varepsilon$ -Frontera Eficiente que represente la proyección sobre valores eficientes que pueden seguir los países de la OTAN con el fin de mejorar los objetivos planteados.

La Figura 2.9 sugiere una dirección de mejora, a partir del desempeño actual de cada país. Representa cuánto podría mejorar cada país, en porcentaje, para cada objetivo si

alcanzan la solución  $\varepsilon$ -eficiente más cercana. Por ejemplo, en el caso de Turquía, su solución  $\varepsilon$ -eficiente más cercana muestra un aumento de alrededor de 1% en el GM, mientras que podría mejorar alrededor de un 20% para el objetivo de IDH y alrededor de un 45% para el objetivo de IGP. En este contexto, se observa la situación de países como Dinamarca y Noruega, cuyos cambios son, casi, insignificantes para llegar a su  $\varepsilon$ -eficiente más cercana. Por lo tanto, la mejora sería mínima en estos últimos países, ya que se encuentran cerca de la  $\varepsilon$ -Frontera de Pareto (ver Figura 2.9).

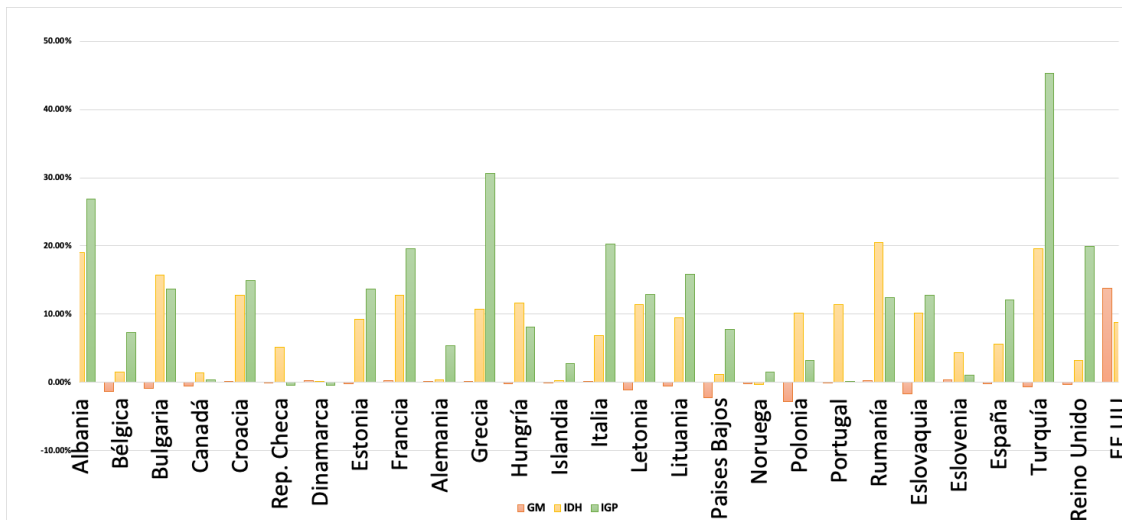


Figura 2.9 Situación de los países con respecto a su solución  $\varepsilon$ -eficiente más cercana  
Fuente: Elaboración propia

Los resultados logrados evidencian la fortaleza del modelo, ya que nos proporciona el conjunto de soluciones posibles y eficientes agrupadas en una frontera. Nace también la inquietud de estudiar, con mayor detalle, la estructura de esta Frontera Eficiente del grupo de países de la OTAN debido a las diferencias detectadas en los tres grupos analizados anteriormente y sus proyecciones en la frontera. Para este cometido, entre otros, en el siguiente apartado agruparemos en clústeres los distintos países, determinaremos las

fronteras para dichos clústeres y las posicionaremos respecto de la frontera global para analizarlas de manera individual.

## 2.2 Modelo multiobjetivo ampliado.

En este apartado, siguiendo la metodología básica del epígrafe anterior, ampliamos nuestro estudio de los países de la OTAN. De esta forma, además de lo comentado previamente del análisis por clústeres, se estudian líneas adicionales, como son el considerar un mayor número de variables de decisión y, por otro lado, estudiar el efecto sobre la maximización del gasto militar.

Dos razones motivaron el aumento de las variables: seguir desafiando la fortaleza resolutoria del modelo e incluir nuevas áreas que plasmen de la forma más fehaciente posible la realidad. Por este motivo, se incluyeron nuevas variables de decisión que impliquen un valor añadido a modelos previamente planteados y, fundamentalmente, que reflejen aspectos de relevante actualidad. Así, se tuvo en cuenta variables que plasmen aspectos económicos que se vean, por ejemplo, influenciados por la apertura comercial, la libertad económica, la exportación de tecnología o el uso de internet. También se incluyeron otras variables de decisión relacionadas con la seguridad, tales como, la privación de libertad y la percepción de la seguridad. Esto permitió no solo determinar su importancia sino también su efecto sobre las funciones objetivo.

Las variables de decisión siguen relacionadas con los sectores económico, salud, desarrollo, educación y seguridad en el periodo 2008-2016. Por tanto, el modelo desarrollado será sobre los mismos 27 países miembros de la OTAN, manteniendo las funciones objetivo GM, IDH e IGP, pero aumentando el número de variables explicativas de siete a diez.

Una vez determinada la Frontera de Pareto Global se estudió su estructura con mayor detalle, se agruparon los países en clústeres, se determinó las Fronteras de Pareto asociadas a dichos clústeres y se las posicionó respecto de la frontera global. Finalmente, para determinar la importancia de los rangos de variación de las variables de decisión y sus términos independientes se analizó en concreto uno de los clústeres obtenidos.

Esta generalización del modelo tiene como finalidad fortalecerlo a través de nuevos elementos. Esto implica una aportación relevante de este trabajo, ya que, no solo se aumenta el número de variables explicativas, sino que también se incluye el concepto de los clústeres y sus fronteras asociadas. Todo esto se expondrá en los próximos apartados, comenzando con el planteamiento y resolución del modelo y, posteriormente, el análisis de los resultados.

### **2.2.1 Países, variables y bases de datos.**

Los países que intervienen en esta etapa del estudio son los veinte y siete previamente listados. La Tabla 2.12 muestra las variables adicionales que se consideran para esta etapa del estudio, junto a los objetivos (GM, IDH e IGP), se mantienen las variables Gasto en Salud ( $x_1$ ) y Deuda Pública ( $x_3$ ), que ya fueron expuestas en la Tabla 2.3.

*Tabla 2.12 Variables explicativas adicionales incluidas en el estudio*

Sector	Variable	Notación	Descripción/ Fuente
Económica	LPIB pc	x <sub>2</sub>	Logaritmo natural del producto interno bruto dividido por la población a mitad de año.
Económica	Valor añadido por la Industria al PIB como % PIB	x <sub>4</sub>	Comprende el valor agregado en minería, manufactura, construcción, electricidad, agua y gas. El valor agregado es la producción neta de un sector después de sumar todas las salidas y restar las entradas intermedias.
Económica	Apertura comercial	x <sub>5</sub>	Exportaciones más importaciones como porcentaje del PIB.
Económica	Libertad Económica	x <sub>6</sub>	El Índice general de libertad económica tiene diez componentes agrupados en cuatro grandes categorías: Estado de derecho; Gobierno limitado; Eficiencia Regulatoria y Mercados Abiertos. La libertad económica general se califica en una escala de 0 a 100, donde 100 representa la máxima libertad.
Desarrollo/ Educación	Exportación de tecnología de la Información como % total de exportaciones	x <sub>7</sub>	Las exportaciones de bienes de tecnología de la información y la comunicación incluyen computadoras y equipos periféricos, equipos de comunicación, equipos electrónicos de consumo, componentes electrónicos y otros bienes de tecnología de la información (varios).
Desarrollo	Usuarios de Internet	x <sub>8</sub>	Los usuarios de Internet son personas que han utilizado Internet (desde cualquier lugar) en los últimos 3 meses.
Seguridad	Índice de Percepción de Corrupción	x <sub>9</sub>	Percepciones de la corrupción en el sector público, es decir, corrupción administrativa y política.
Seguridad	Personas privadas de libertad	x <sub>10</sub>	Número de presos por cada 100,000 personas.

*Fuente: Elaboración propia*

Además de las bases de datos previamente descritas en el apartado 2.1.1 se consideran las siguientes:

- **La Fundación Heritage**

Tiene su origen en 1973 en los Estados Unidos, aparece como un tanque de pensamiento conservador que busca profesionalizar la influencia política. En su fundación se establece como misión el formular y promover políticas públicas basadas en los principios

de la libre empresa, un gobierno limitado, la libertad individual, los valores estadounidenses tradicionales y una fuerte defensa nacional.

- **Transparencia Internacional**

Transparencia Internacional es un movimiento global que nace en 1993 buscando poner fin a la injusticia de la corrupción. Su interés se enfoca en problemas que impactan en la vida de las personas y promueve una responsabilidad por el bien común de aquellos que tienen poder. Uno de sus focos es la corrupción por lo que, su misión, es detener la misma y promover la transparencia, la rendición de cuentas y la integridad en todos los niveles y en todos los sectores de la sociedad.

La Tabla 2.13 expone el listado de las fuentes para las variables utilizadas en este epígrafe, así como el vínculo a sus páginas institucionales. El resto de las fuentes fueron expuestas en la Tabla 2.2.

*Tabla 2.13 Nuevas fuentes de las variables para la investigación del grupo de países de las OTAN*

Fuente	Página Institucional	Variable	Sector
La Fundación Heritage	<a href="https://www.heritage.org/index/">https://www.heritage.org/index/</a>	Libertad Económica	Económico
Transparencia Internacional	<a href="https://www.transparency.org/en/cpi/2020/index/nzl">https://www.transparency.org/en/cpi/2020/index/nzl</a>	Índice de Percepción de Corrupción	Seguridad

*Fuente: Elaboración propia*

La Tabla 2.14 muestra los estadísticos descriptivos para las 10 variables del estudio. El coeficiente de variación sugiere que el IDH, LPIB pc y el Índice de libertad económica tiene una media más representativa. Mientras que, por el contrario, las exportaciones de tecnología de la información -como porcentaje del total de exportaciones-, la deuda pública -como porcentaje del PIB- y el gasto militar, tienen la media menos representativa, por lo que estas variables presentan mayor dispersión entre sus valores. Además, los rangos de las

variables difieren notablemente, aunque el IDH, el IGP y el LPIB pc muestran menos variación.

Finalmente, las variables muestran marcada asimetría positiva, es decir que la cola de la distribución es alargada hacia la derecha, consecuentemente la mayoría de los años observados presentan valores de gasto o de índices superiores a la media.

*Tabla 2.14 Variables y descripción estadística para el segundo escenario*

<b>Variable</b>	<b>Notación</b>	<b>Promedio</b>	<b>DE</b>	<b>CV</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>	<b>Simetría</b>
Gasto militar en USD como % PIB	$y_1$	1.549	0.720	0.460	0.000	4.657	1.526
Índice de Desarrollo Humano (IDH)	$y_2$	0.862	0.050	0.060	0.714	0.951	-0.474
Índice Global de Paz (IGP)	$y_3$	1.668	0.292	0.170	1.099	2.714	0.9365
Gasto en Salud como % PIB	$x_1$	8.446	2.397	0.280	4.139	17.073	1.087
LPIB pc	$x_2$	4.373	0.313	0.070	3.577	4.958	-0.343
Deuda Pública como % PIB	$x_3$	65.682	35.356	0.540	4.487	183.453	0.803
Valor añadido por la Industria al PIB como % PIB	$x_4$	24.140	5.291	0.220	13.682	40.295	0.571
Apertura comercial	$x_5$	96.441	40.594	0.420	24.642	184.510	0.421
Libertad Económica	$x_6$	68.560	6.097	0.090	53.000	81.000	0.031
Exportación de tecnología de la Información como % total de exportaciones	$x_7$	5.376	5.144	0.960	0.070	26.000	1.564
Usuarios de Internet	$x_8$	70.977	15.921	0.220	23.860	98.240	-0.339
Índice de Percepción de Corrupción	$x_9$	61.119	17.278	0.280	31.000	94.000	0.161
Personas privadas de libertad	$x_{10}$	4.898	0.566	0.120	3.611	6.631	4.041

*Fuente: Elaboración propia*

## 2.2.2 Formulación del modelo.

### Estimación de las funciones objetivo.

La metodología que contempla la estimación de funciones objetivo, estimación de restricciones y planteamiento del modelo de programación multiobjetivo, se realizó según lo desarrollado en los epígrafes previos de este trabajo. Con la modificación de las variables independientes utilizadas, los resultados de las ecuaciones estimadas para cada uno de los objetivos (GM, IDH e IGP) se muestran en la Tabla 2.15.

*Tabla 2.15 Determinantes del GM, IDH e IGP para los países de la OTAN (modelo de datos de panel con efectos fijos, periodo 2008-2016)*

Variable	Notación	GM	IDH	IGP
Gasto en Salud como % PIB	$x_1$	0.093306**	0.00160	-0.020300
LPIB pc	$x_2$	0.475553**	0.14912***	0.457423***
Deuda Pública como % PIB	$x_3$	-0.004400*	0.000100	-0.001600
Valor añadido por la Industria al PIB como % PIB	$x_4$	-0.03460**	0.001206**	-0.017250**
Apertura comercial	$x_5$	-0.00620***	0.00021***	-0.002142***
Libertad Económica	$x_6$	-0.03508***	0.00148**	-0.006900
Exportación de tecnología de la Información como % total de exportaciones	$x_7$	0.025131**	-0.0014***	-0.002100
Usuarios de Internet	$x_8$	-0.01744***	0.00097***	-0.003700
Índice de Percepción de Corrupción	$x_9$	0.011065*	-0.000947**	-0.004600
Personas privadas de libertad	$x_{10}$	0.011065***	0.006466	0.329153***
R <sup>2</sup>		0.72534	0.91634	0.632317
Número de países		27	27	27
Número total de observaciones		243	243	243
Número observaciones por país		9	9	9

\*\*\* significativo al 1 %, \*\* al 5 %, \* al 10 %

*Fuente: Elaboración propia*

En consecuencia, nuestras funciones objetivo vienen expresadas por las siguientes ecuaciones:

$$f_1 = 0.093306 x_1 + 0.475553 x_2 - 0.004400 x_3 - 0.03460 x_4 - 0.00620 x_5 - 0.03508 x_6 + 0.025131 x_7 - 0.01744 x_8 + 0.011065 x_9 + 0.011065 x_{10}$$

$$f_2 = 0.00160 x_1 + 0.14912 x_2 + 0.000100 x_3 + 0.001206 x_4 + 0.00021 x_5 + 0.00148 x_6 - 0.0014 x_7 + 0.00097 x_8 - 0.000947 x_9 + 0.006466 x_{10}$$

$$f_3 = -0.020300 x_1 + 0.457423 x_2 - 0.001600 x_3 - 0.017250 x_4 - 0.002142 x_5 - 0.006900 x_6 - 0.002100 x_7 - 0.003700 x_8 - 0.004600 x_9 + 0.329153 x_{10}$$

En función de los resultados estimados, según los p-valores obtenidos para el estadístico  $t$ , se observa que todas las variables explicativas son estadísticamente significativas para explicar el GM. En particular, están influyendo positivamente el gasto en Salud, LPIB pc, Exportación de Tecnología de la Información, Índice de Percepción de

Corrupción y Personas privadas de libertad, siendo el LPIB pc y las Personas privadas de libertad las que más influencia ejercen. Por el contrario, el resto de las variables influyen con signo negativo.

Si observamos el IDH, las variables estadísticamente significativas que están contribuyendo a que aumente son: el LPIB pc, Valor añadido por la Industria al PIB, Apertura comercial, Libertad Económica, Usuarios de Internet; mientras que las que están influyendo negativamente son: Exportación de tecnología de la Información e Índice de Percepción de Corrupción. Finalmente, en lo que respecta al IGP, las variables estadísticamente significativas que más están contribuyendo a que aumente son el LPIB pc y Personas privadas de libertad; mientras que, las que más están influyendo en su disminución son: Valor añadido por la Industria al PIB y Apertura comercial.

El coeficiente de determinación estimado para cada uno de los modelos nos permite afirmar que la fiabilidad de los modelos estimados es bastante alta, con valores 0.72; 0.91 y 0.63 para el GM, IDH e IGP respectivamente.

### Estimación de las restricciones.

De manera similar a la estimación de las restricciones del modelo inicial, hemos obtenido:

$$x_1 = 4.297 x_2 + 0.015 x_3 - 0.087 x_4 - 0.005 x_5 + 0.026 x_6 + 0.052 x_7 - 0.031 x_8 + 0.040 x_9 + 0.968 x_{10} - 15.81$$

$$x_2 = 0.036 x_1 + 0.002 x_3 + 0.009 x_4 - 0.001 x_5 - 0.005 x_6 + 0.003 x_7 + 0.004 x_8 + 0.01 x_9 - 0.057 x_{10} + 3.54$$

$$x_3 = 4.127 x_1 + 55.331 x_2 - 2.735 x_4 - 0.090 x_5 - 1.464 x_6 + 0.206 x_7 + 0.306 x_8 - 1.186 x_9 - 6.271 x_{10} + 44.25$$

$$x_4 = -0.781 x_1 + 10.035 x_2 - 0.088 x_3 - 0.002 x_5 - 0.008 x_6 + 0.184 x_7 - 0.057 x_8 - 0.082 x_9 - 0.156 x_{10} + 2.19$$

$$x_5 = -2.27 x_1 - 50.86 x_2 - 0.147 x_3 - 0.117 x_4 + 0.195 x_6 + 3.962 x_7 + 1.312 x_8 - 0.353 x_9 + 22.518 x_{10} + 354.56$$

$$x_6 = 0.151 x_1 - 3.748 x_2 - 0.031 x_3 - 0.005 x_4 + 0.003 x_5 + 0.046 x_7 + 0.071 x_8 - 0.292 x_9 + 3.792 x_{10} + 43.90$$

$$x_7 = 0.419 x_1 + 3.011 x_2 + 0.006 x_3 + 0.167 x_4 + 0.071 x_5 + 0.064 x_6 + 0.035 x_8 - 0.089 x_9 + 3.609 x_{10} - 41.65$$

$$x_8 = -1.022 x_1 + 15.505 x_2 + 0.037 x_3 - 0.213 x_4 + 0.096 x_5 + 0.405 x_6 + 0.144 x_7 + 0.511 x_9 + 0.019 x_{10} - 54.63$$

$$x_9 = 0.721 x_1 + 22.077 x_2 - 0.077 x_3 - 0.164 x_4 - 0.014 x_5 + 0.897 x_6 - 0.197 x_7 + 0.274 x_9 - 5.027 x_{10} - 86.47$$

$$x_{10} = 0.079 x_1 - 0.548 x_2 - 0.002 x_3 - 0.001 x_4 - 0.004 x_5 + 0.053 x_6 + 0.036 x_7 + 0.000 x_8 - 0.023 x_9 + 0.023$$

A partir de dichas estimaciones, la obtención de las restricciones asociadas a las mismas, esencialmente sus cotas inferiores y superiores, se realizaron sustituyendo los valores de las variables de decisión de los distintos países y los diferentes años, observando los valores alcanzados, incorporando la constante de la estimación, y los valores mínimos y máximos son los seleccionados para nuestros términos independientes de nuestras restricciones, denotados por  $L_j^{inf}$  y  $L_j^{sup}$  que serían:

*Tabla 2.16 Valores límites de las restricciones*

$j$	Límite inferior ( $L_j^{inf}$ )	Límite superior ( $L_j^{sup}$ )
1	-9.5703	0.9796
2	2.5140	3.2747
3	-92.9844	35.2762
4	-18.2262	4.3452
5	260.9354	402.7556
6	23.3147	38.4385
7	-29.6186	-2.4071
8	-52.0035	-10.5522
9	-106.8597	-71.4868
10	1.8795	4.0065

*Fuente: Elaboración propia*

Las cotas,  $N_j^{Min} \leq x_j \leq N_j^{Max}$ ;  $\forall j \in \{1,2, \dots 10\}$  para este caso son:

Tabla 2.17 Cotas de las variables

Variable	Cota Inferior ( $N_j^{Min}$ )	Cota Superior ( $N_j^{Max}$ )
$x_1$	4.139	17.073
$x_2$	3.577	4.958
$x_3$	4.487	183.453
$x_4$	13.682	40.295
$x_5$	24.642	184.506
$x_6$	53.000	81.000
$x_7$	0.070	26.000
$x_8$	23.860	98.240
$x_9$	31.000	94.000
$x_{10}$	3.611	6.631

Fuente: Elaboración propia

El planteamiento del modelo de programación multiobjetivo queda como sigue, donde se maximiza el GM y el IDH y se minimiza el IGP.

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \text{Max GM} = \text{Max } y_1 = \sum_{j=1}^{10} a_{j1} x_j \\
 \text{Max IDH} = \text{Max } y_2 = \sum_{j=1}^{10} a_{j2} x_j \\
 \text{Min IGP} = \text{Min } y_3 = \sum_{j=1}^{10} a_{j3} x_j \\
 \text{sa: } \left\{ \begin{array}{l}
 L_j^{inf} \leq \sum_r c_{jr} x_r \leq L_j^{sup}; \forall j \in \{1,2, \dots, 10\} \\
 N_j^{Min} \leq x_j \leq N_j^{Max}; \forall j \in \{1,2, \dots, 10\} \\
 x_j \geq 0 \forall j; y_1 \geq 0, 0 \leq y_2 \leq 1, y_3 \geq 1
 \end{array} \right.
 \end{array} \right. \quad (3)$$

Donde:

$a_{jk}$ : Coeficiente de la ecuación de  $y_k$  respecto a  $x_j \forall j, k$  según Tabla 2.15.

$c_j$ : Coeficientes de las restricciones según ecuaciones previas.

$L_j^{inf}$ ;  $L_j^{sup}$ : Límite inferior y superior de las restricciones según Tabla 2.16.

$N_j^{Min}$ ;  $N_j^{Max}$ : Cotas mínimas y máximas de las variables de decisión según Tabla 2.17

Para resolver el modelo resultante, se aplicó un procedimiento similar al ya desarrollado en la sección 2.2. La Figura 2.10 muestra la estimación de la Frontera de Pareto Global obtenida con 29048 soluciones eficientes.

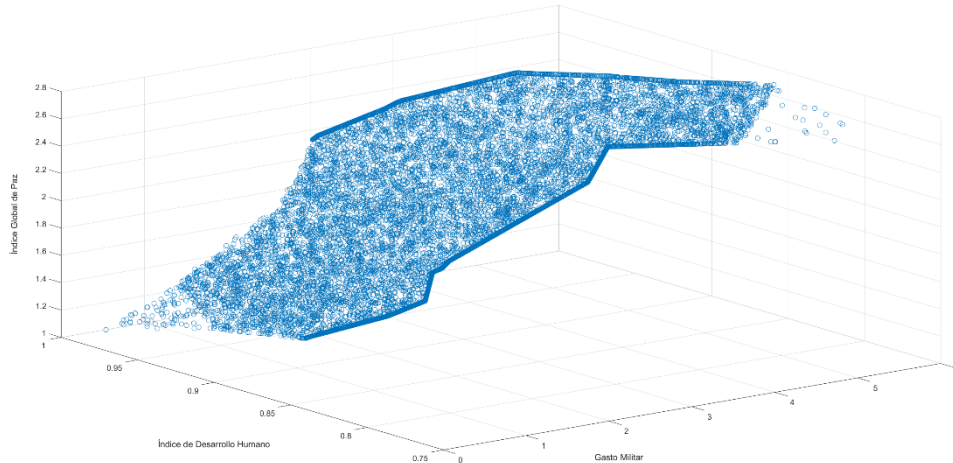


Figura 2.10 Frontera de Pareto para los objetivos GM, IDH y IGP, para el grupo de 27 países de la OTAN con 3 funciones objetivo y 10 variables de decisión  
Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla puede observarse la variación para los objetivos sobre dicha Frontera Eficiente:

*Tabla 2.18 Rango de variación de los objetivos*

Objetivos	Mínimo	Máximo
GM	0.537	5.635
IDH	0.792	1
IGP	1	2.783

*Fuente: Elaboración propia*

Si representáramos los países para ver su posicionamiento respecto a dicha Frontera Eficiente surge la interrogante de cómo contribuyen los países en la estructuración de la Frontera de Pareto Global. Dado que se aprecia un cierto agrupamiento de distintos países entre sí, se optó por el agrupamiento de los mismos a través de un análisis clúster. Esto

permitió calcular y analizar el posicionamiento de sus fronteras de Pareto con respecto de la frontera global.

### 2.2.3 Resolución por clústeres y análisis de los resultados.

Para la obtención de los diferentes clústeres, se realizó un dendrograma generado de las medianas de los objetivos (GM, IDH, IGP) y variables explicativas ( $x_1, \dots, x_{10}$ ) de cada uno de los 27 países que participa en el estudio. Para ello, se utilizó el método jerárquico de Ward y la distancia euclídea al cuadrado. El dendrograma obtenido puede verse en la Figura 2.11.

Sobre la base del resultado del dendrograma, y para un nivel de similitud aproximadamente de 80 (ofrecido en el eje vertical), se agruparon los países en los siguientes siete clústeres:

**C1:** Albania, Bulgaria, Rumania y Croacia;

**C2:** Estonia, Italia, España, Polonia, Portugal, Hungría, Eslovaquia, Letonia y Lituania;

**C3:** Bélgica, Canadá, República Checa, Eslovenia, Dinamarca, Alemania, Holanda y Noruega;

**C4:** Islandia;

**C5:** Francia, Reino Unido y Grecia;

**C6:** Estados Unidos;

**C7:** Turquía.

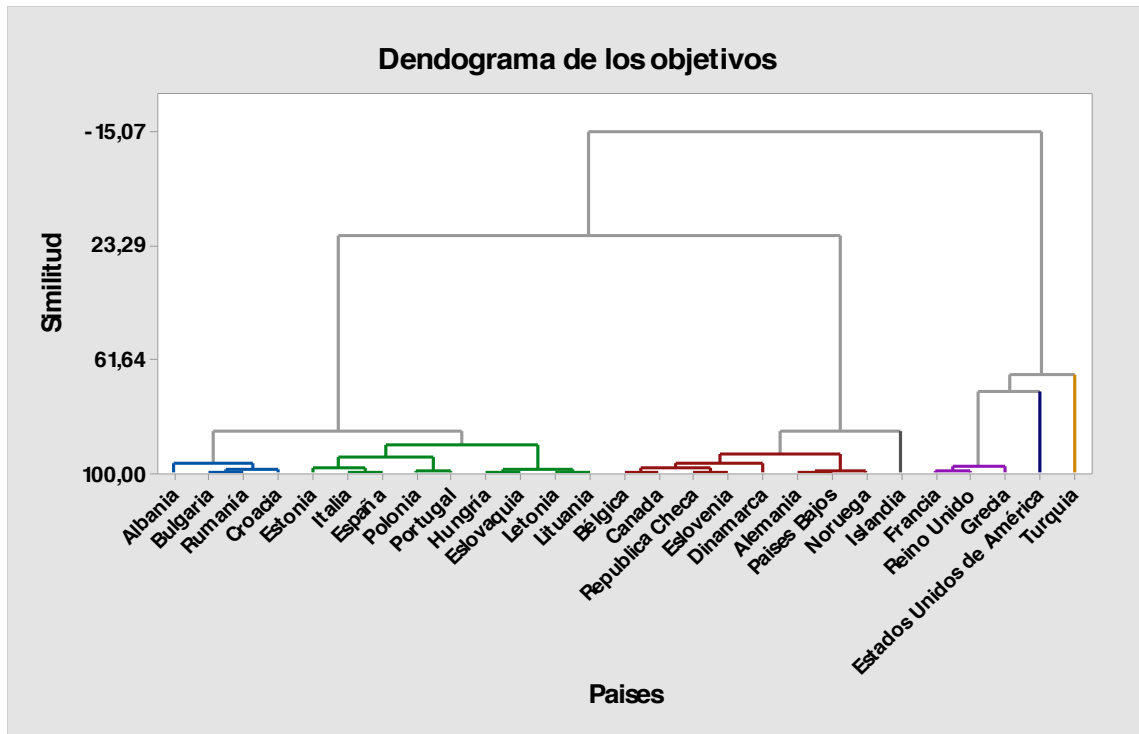
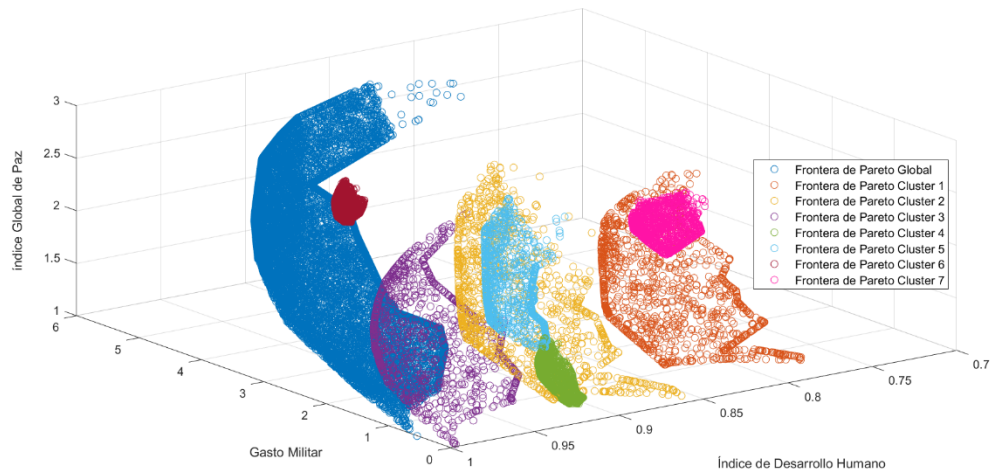


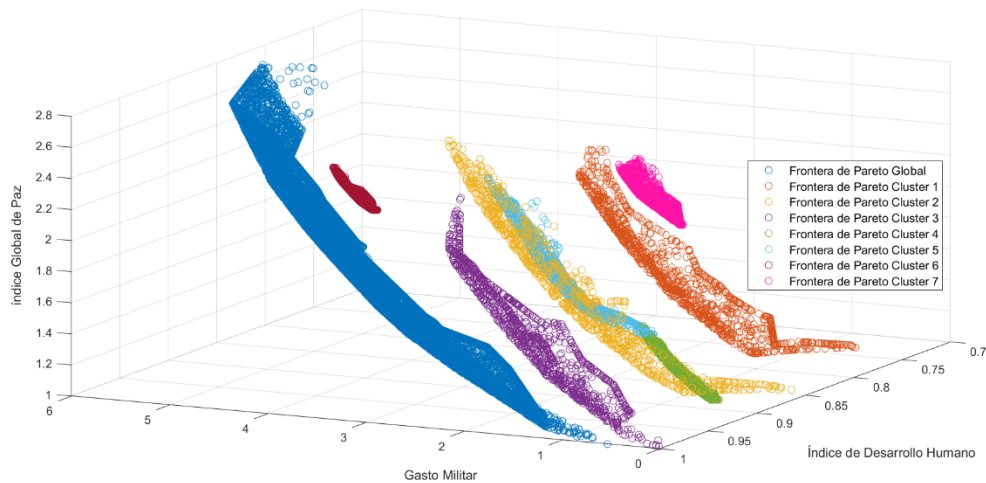
Figura 2.11 Dendrograma en función de las medianas de los objetivos y variables explicativas

Fuente: Elaboración propia

Para cada uno de dichos clústeres se aplicó el modelo global, para el que se modificaron las cotas de las variables de decisión y los términos independientes de las restricciones circunscribiéndolos a los países incluidos en el clúster correspondiente. Por tanto, se resolvieron siete modelos adicionales, obteniendo el resultado que se muestra en la Figura 2.12.



(a) Una perspectiva de los clúster-Frontera de Pareto



(b) Otra perspectiva de los clúster-Frontera de Pareto

Figura 2.12 Frontera de Pareto Global y Clúster Fronteras de Pareto de los clúster C1-C7, para los objetivos GM, IDH e IGP

Fuente: Elaboración propia

A la vista de la Fig. 2.12, que muestra los resultados de las fronteras de Pareto tras resolver los distintos modelos, permite analizar cómo la frontera de cada clúster se proyecta sobre la global; se evidencia que dichas fronteras explican parcialmente la frontera global ya que sobre su parte superior no se proyecta ninguna frontera de los clústeres. Además, hace visible la contribución de los países en la estructuración de la Frontera de Pareto Global.

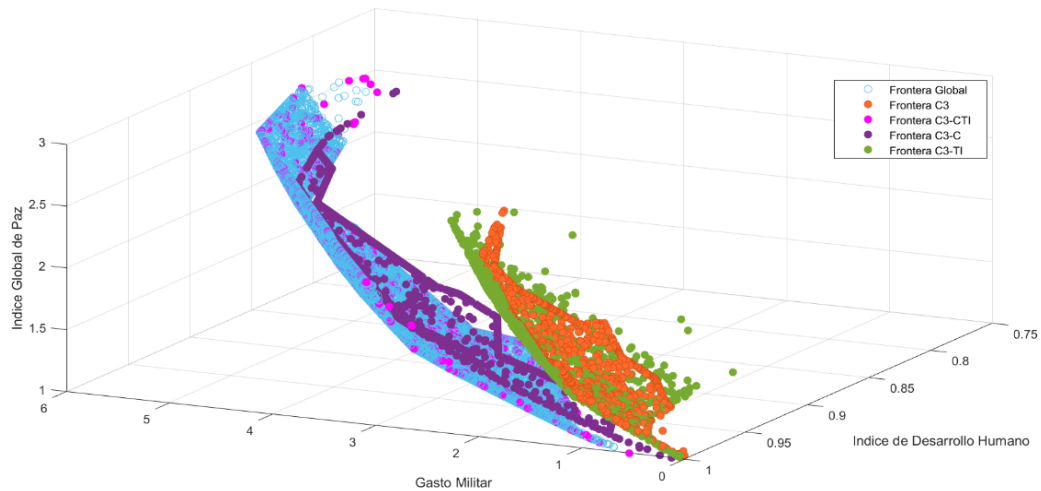
Estados Unidos es el único país que constituye el C6, frontera en rojo; es el más cercano a la zona de la Frontera de Pareto Global no explicada, esta condición se debe principalmente a que este país tiene el mayor GM. Por otro lado Turquía, C7, es el país más alejado de la Frontera de Pareto Global; es decir, representa al menos eficiente con respecto a la eficiencia global, a pesar de que su clúster frontera está construida con las soluciones más eficientes que se pueden obtener del comportamiento de sus variables de decisión.

A continuación de la clúster frontera de Turquía, aparece en naranja el clúster C1, conformado por los países de Albania, Bulgaria, Rumania, Croacia; las soluciones eficientes de estos países dominan completamente a las del C7. En los resultados también resalta que las fronteras de los clústeres representados en amarillo, verde y celeste están solapadas entre sí, implicando que los países del C2: Estonia, Italia, España, Polonia, Portugal, Hungría, Eslovaquia, Letonia, Lituania; del C4: Islandia y del C5: Francia, Reino Unido y Grecia tienen coincidencias en sus soluciones eficientes. Por otro lado, se evidencia que la frontera de Islandia (C4) arrastra hacia abajo la Frontera de Pareto Global por su reducido GM, alto IDH y bajo IGP. Se observa también que la frontera amarilla, C2, recoge los comportamientos de los clústeres C4 y C5 dominándolos.

Finalmente, aparecen Bélgica, Canadá, República Checa, Eslovenia, Dinamarca, Alemania, Holanda y Noruega conformando la frontera del clúster C3, en morado. La ubicación de su clúster frontera permite determinar que estos países son los más avanzados en cuanto a la eficiencia de nuestro modelo.

Como se mencionó anteriormente, la parte superior de la Frontera de Pareto Global no es explicada por los clústeres, es decir al unir todas las fronteras proyectadas de los clústeres C1 al C7 no obtenemos toda la Frontera de Pareto Global. Para explicar esta

situación se generó versiones de una misma frontera ampliando las cotas de las variables explicativas y los términos independientes de las restricciones, al mismo tiempo y por separado.



*Figura 2.13 Frontera de Pareto global y clúster Frontera de Pareto del clúster C3 original (naranja), ampliando cotas de variables explicativas y términos independientes restricciones al mismo tiempo (rosa), solo cotas (morado) y solo términos independientes (verde)*

*Fuente: Elaboración propia*

En la figura anterior se aprecia que, al ampliar las cotas y los términos independientes, se genera una frontera (Clúster 3-CTI, rosa) muy cercana a la global (azul). Nace la pregunta, ¿qué influye más, ampliar las cotas o los términos independientes de las restricciones? Los análisis evidencian que modificar las cotas de las variables de decisión hace que la frontera del clúster C3 (Clúster 3-C, morado) tome la forma de la Frontera de Pareto Global (Frontera Global, azul). La modificación de los términos independientes de las restricciones (Clúster 3-TI, verde) no causa una variación significativa de la frontera original (Clúster 3, naranja). Consecuentemente, las cotas de las variables explicativas tienen un efecto preponderante en la forma de la Frontera Eficiente.

La siguiente tabla ofrece la oportunidad de un análisis detallado de la estructura de la frontera global y las de cada uno de los clústeres puesto que muestra los límites que arroja el modelo tanto para la Frontera Eficiente Global como para la frontera de cada uno los clústeres.

*Tabla 2.19 Límites de los valores de los objetivos para la frontera global y de los clústeres C1:C7, aplicadas a los datos de 27 países de la OTAN*

<b>Frontera Global</b>			
<b>Variable</b>	<b>Notación</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>
Gasto militar en USD como % PIB	$y_1$	0.537	5.635
Índice de Desarrollo Humano (IDH)	$y_2$	0.792	1
Índice Global de Paz (IGP)	$y_3$	1	2.783
<b>Clúster 1</b>			
<b>Variable</b>	<b>Notación</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>
Gasto militar en USD como % PIB	$y_1$	0.091	3.143
Índice de Desarrollo Humano (IDH)	$y_2$	0.738	0.866
Índice Global de Paz (IGP)	$y_3$	1.163	2.184
<b>Clúster 2</b>			
<b>Variable</b>	<b>Notación</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>
Gasto militar en USD como % PIB	$y_1$	0.022	3.839
Índice de Desarrollo Humano (IDH)	$y_2$	0.805	0.950
Índice Global de Paz (IGP)	$y_3$	1.064	2.401
<b>Clúster 3</b>			
<b>Variable</b>	<b>Notación</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>
Gasto militar en USD como % PIB	$y_1$	0.065	3.343
Índice de Desarrollo Humano (IDH)	$y_2$	0.867	1.000
Índice Global de Paz (IGP)	$y_3$	1.000	2.120
<b>Clúster 4</b>			
<b>Variable</b>	<b>Notación</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>
Gasto militar en USD como % PIB	$y_1$	0.188	1.183
Índice de Desarrollo Humano (IDH)	$y_2$	0.894	0.926
Índice Global de Paz (IGP)	$y_3$	1.109	1.503
<b>Clúster 5</b>			
<b>Variable</b>	<b>Notación</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>
Gasto militar en USD como % PIB	$y_1$	0.914	3.311
Índice de Desarrollo Humano (IDH)	$y_2$	0.820	0.920
Índice Global de Paz (IGP)	$y_3$	1.469	2.198
<b>Clúster 6</b>			
<b>Variable</b>	<b>Notación</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>
Gasto militar en USD como % PIB	$y_1$	3.620	4.279
Índice de Desarrollo Humano (IDH)	$y_2$	0.901	0.9301
Índice Global de Paz (IGP)	$y_3$	2.160	2.361
<b>Clúster 7</b>			
<b>Variable</b>	<b>Notación</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>
Gasto militar en USD como % PIB	$y_1$	1.613	2.497
Índice de Desarrollo Humano (IDH)	$y_2$	0.760	0.820
Índice Global de Paz (IGP)	$y_3$	1.906	2.229

*Fuente: Elaboración propia*

Los datos evidencian que en el clúster C3 (Bélgica, Canadá, República Checa, Eslovenia, Dinamarca, Alemania, Holanda, Noruega) se presenta el mejor nivel de paz, 1.000; por otro lado la peor condición de paz se encuentra en el clúster C2 (Estonia, Italia, España, Polonia, Portugal, Hungría, Eslovaquia, Letonia, Lituania) con un valor de 2.401; cuanto más bajo es el valor, mejor es la condición de paz en el país. En cuanto al IDH, las mejores condiciones de desarrollo humano se observan también en el clúster C3 que alcanza el valor más alto de 1.000; mientras que el nivel de desarrollo menos favorable se observa en el clúster C1 (Albania, Bulgaria, Rumanía, Croacia), con un valor de 0.738. Finalmente, en relación al gasto militar, el clúster C6 (USA) marca el límite superior de esta función objetivo llegando 4.279% del PIB. Por el contrario, uno de los países del clúster C2 presenta el gasto militar menor con 0.022%.

Sintetizando, las mejores condiciones de paz y de desarrollo humano se observan en el clúster C3, lo cual corrobora lo establecido en el análisis del gráfico de las clúster-fronteras (Figura 2.12) de que los países que conforman este clúster son los más cercanos a la eficiencia.

Por otro lado, la Tabla 2.20 nos permite relacionar las funciones objetivo con el conjunto de soluciones para las variables explicativas. En la tabla (a) se identifica y resaltan en rojo los valores mínimos para cada variable mientras que, en verde, los valores máximos; estos valores se recogen en la tabla (b).

*Tabla 2.20 Límites de la Frontera de Pareto para los valores de las funciones objetivo y de las variables de decisión aplicadas a los datos de 27 países de la OTAN*

Variable	Notación		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Gasto militar en USD como % PIB	$y_1$	Min	0.091	0.022	0.065	0.188	0.914	3.620	1.613
		Max	3.143	3.839	3.343	1.183	3.311	4.279	2.497
Índice de Desarrollo Humano	$y_2$	Min	0.738	0.805	0.867	0.894	0.820	0.901	0.760
		Max	0.866	0.950	1.000	0.926	0.920	0.930	0.820
Índice Global de Paz	$y_3$	Min	1.163	1.064	1.000	1.109	1.469	2.160	2.229
		Max	2.184	2.401	2.120	1.503	2.198	2.361	1.906
Gasto en Salud como % PIB	$x_1$	Min	4.676	5.400	10.336	8.507	8.818	16.975	4.462
		Max	8.511	9.879	11.139	9.019	11.595	17.073	5.534
LPIB pc	$x_2$	Min	3.820	4.256	4.725	4.661	4.430	4.678	3.999
		Max	4.182	4.576	4.958	4.699	4.628	4.721	4.148
Deuda Pública como % PIB	$x_3$	Min	13.047	4.487	21.649	51.697	49.688	76.478	27.643
		Max	85.709	122.289	106.358	92.031	142.258	104.455	43.857
Valor añadido Industria al PIB % PIB	$x_4$	Min	21.142	18.720	20.594	19.613	13.682	17.955	24.328
		Max	38.516	33.057	40.295	22.970	20.036	20.861	28.195
Apertura comercial	$x_5$	Min	58.473	45.419	58.622	83.419	47.744	24.642	45.899
		Max	130.632	184.506	161.494	104.268	67.149	30.789	52.663
Libertad Económica	$x_6$	Min	54.000	59.000	62.025	68.000	53.000	75.000	60.823
		Max	67.000	78.000	81.000	76.000	79.000	81.000	65.000
Exportación de TI como % total de exportaciones	$x_7$	Min	0.311	1.070	0.790	0.070	1.370	8.943	1.350
		Max	8.390	26.000	15.330	0.180	5.840	10.710	1.980
Usuarios de Internet	$x_8$	Min	23.860	44.130	58.000	91.000	38.200	69.730	34.370
		Max	72.700	88.410	97.300	98.240	94.780	85.540	58.350
Índice de Percepción de Corrupción	$x_9$	Min	31.000	39.000	72.519	78.000	35.277	71.000	41.000
		Max	51.000	70.000	94.000	89.000	81.000	76.000	50.000
Personas privadas de libertad	$x_{10}$	Min	4.304	4.489	4.043	3.611	4.443	6.509	4.990
		Max	5.328	5.808	5.394	3.970	4.883	6.631	5.525

(a) para cada clúster C1:C7; valores máximos (en verde) y mínimos (en rojo)

Variable	Notación	Mín	Máx	Media Mín	Media Máx
Gasto militar en USD como % PIB	$y_1$	0.022	4.279	0.930	3.085
Índice de Desarrollo Humano (IDH)	$y_2$	0.738	1.000	0.827	0.916
Índice Global de Paz (IGP)	$y_3$	1.000	2.401	1.410	2.142
Gasto en Salud como % PIB	$x_1$	4.462	17.073	8.453	10.393
LPIB pc	$x_2$	3.820	4.958	4.367	4.559
Deuda Pública como % PIB	$x_3$	4.487	142.258	34.956	99.565
Valor añadido por la Industria al PIB como % PIB	$x_4$	13.682	40.295	19.433	29.133
Apertura comercial	$x_5$	24.642	184.506	52.031	104.500
Libertad Económica	$x_6$	53.000	81.000	61.693	75.286
Exportación de tecnología de la Información como % total de exportaciones	$x_7$	0.070	26.000	1.986	9.776
Usuarios de Internet	$x_8$	23.860	98.240	51.327	85.046
Índice de Percepción de Corrupción	$x_9$	31.000	94.000	52.542	73.000
Personas privadas de libertad	$x_{10}$	3.611	6.631	4.627	5.363

(b) Valores máximos y mínimos globales de los objetivos y variables explicativas y medias respectivas, aplicadas a los datos de 27 países de la OTAN, obtenidos de la tabla (a).

Fuente: *Elaboración propia*

El mayor nivel de inversión en salud ( $x_1$ ) lo realiza el clúster C6, 17.073%, y el menor aparece en el C1, 4.676%. El PIB pc ( $x_2$ ) más alto se encuentra en el clúster C3 y el menor en el C1; el menor nivel de endeudamiento ( $x_3$ ) se presenta en el clúster C2, 4.487%, y el mayor nivel en el C5, 142.258%. En cuanto al valor añadido por la industria ( $x_4$ ) el mayor aporte se observa en el clúster C3 con 40.295% y el menor 13.682% en el clúster C5. La mayor apertura comercial ( $x_5$ ) se presenta en el clúster C2 con 184.506% y la menor está presente en el C6 con 24.642%.

La libertad económica ( $x_6$ ) la lidera el clúster C6 (81%), mientras que el clúster C5 presenta la menor apertura (53%); en cuanto al aporte que realiza al PIB la exportación de tecnología de información ( $x_7$ ) es mayor en el clúster C2 con 26% y menor en C4 con 0.07%. La mayor cantidad de usuarios de internet ( $x_8$ ) en relación a la población total están en clúster C4 con el 98.240% y en menor cantidad en el C6 23.860%. La percepción de corrupción ( $x_9$ ) es mejor en el C1 con 31%, y peor en el C3 con 94%; finalmente, existe mayor cantidad de prisioneros por cada 100 mil habitantes ( $x_{10}$ ) en el clúster C6 y menor en el C4.

Los datos descritos evidencian que el modelo asocia los mejores valores de IDH e IGP con PIB pc elevados y grandes aportes al PIB por parte de la industria, en línea con lo encontrado por Gohou y Soumaré ( 2012); Kabát, Filip, y Filipová (2017); Seabra et al. (2018); Okagbue et al. (2019); Ghazalian y Hammoud (2020), estas condiciones se observan en el clúster C3 que fue identificado como el clúster cuyos países se acercan más a la eficiencia.

Por el lado del GM se observa que el modelo vincula el gasto más alto con el mayor gasto público en salud, la mayor libertad económica, menor apertura comercial y la mayor cantidad de población privada de libertad, condiciones que se observan en el clúster C6.

Estos hallazgos también están en línea con lo propuesto por Mansoob Murshed y Mamoon (2010) y Taydas y Peksen (2012).

### 2.3 Conclusiones del capítulo 2.

Tanto el modelo multiobjetivo inicial como el ampliado constituyen una herramienta poderosa para evidenciar la interrelación entre los objetivos planteados (GM, IDH e IGP) en el entorno definido por restricciones de carácter económico, así como las relativas a la salud, desarrollo, educación y seguridad impuestas. Esta metodología permitió estudiar el GM como un objetivo, tratándolo simultáneamente con el desarrollo y paz de un país. Los resultados permitieron obtener una  $\varepsilon$ -Frontera de Pareto Eficiente que facilita un sinnúmero de análisis y determinación de acciones que pueden ayudar a un decisor en la adopción de diferentes políticas públicas y las consecuencias que podrían derivarse de ellas.

El problema multiobjetivo planteado para la minimización del GM e IGP y maximización del IDH permitieron calcular la Frontera Eficiente para los países de la OTAN. A partir de ella, se comprobó que si aumenta el GM entonces el IDH y el IGP aumentan dentro del rango analizado. Sin embargo, se debe tener en cuenta que un mayor valor de IGP implica peores condiciones de paz en el país. Esta situación representa la compensación que existe cuando el tomador de decisiones debe seleccionar una posible solución con un nivel de GM que le permita alcanzar o mantener los niveles deseados de desarrollo humano y condiciones de paz.

En relación con la influencia de las variables en los objetivos, el análisis reveló que el PIB, el gasto en salud y la inversión en I + D son relevantes para el GM. Además, esta

última es también la variable más importante para el IDH y el IGP. Los resultados obtenidos también permiten afirmar que el aumento de los gastos en educación contribuye positivamente en la mejora del IDH y del IGP.

La generalización del modelo permitió demostrar que es posible explicar la estructura de la Frontera de Pareto Global para las funciones objetivo GM, IDH e IGP en términos de Clúster Fronteras de Pareto para los países de la OTAN, agrupados en función de los comportamientos de sus funciones objetivo y de nuevas restricciones que incluyen aspectos de relevante actualidad. Los clúster se generaron considerando las medianas de los objetivos (GM, IDH, IGP) y variables explicativas  $(x_1, \dots, x_{10})$  de cada uno de los 27 países que participa en el estudio.

La Frontera de Pareto Global se explicó mediante las Clúster Fronteras de Pareto de siete grupos de países. Al posicionarlas frente a la Frontera de Pareto se explican los grupos de países que conforman cada tramo. Se identificó un tramo no explicado por los clústeres, promoviendo un análisis específico de los efectos sobre la Frontera de Pareto de la variación de los rangos de las variables de decisión y de los términos independientes de las restricciones. Este análisis evidenció, una vez más, que los rangos de las variables tienen un papel fundamental en la forma de la Frontera de Pareto.

En concreto, el análisis de los clústeres fronteras evidenció las diferencias y semejanzas existentes. Así, el clúster C4 (Islandia) presenta el mejor rango para los niveles de paz, mientras las mejores condiciones de desarrollo humano se observan en el clúster C3 (Bélgica, Canadá, República Checa, Eslovenia, Dinamarca, Alemania, Holanda, Noruega) y el gasto militar más alto en el clúster C6 (USA). Las mejores condiciones de paz del clúster C2 vienen acompañadas de valores altos de IDH y GM sin llegar a los extremos superiores

ni inferiores. En relación a los comportamientos de los diferentes clústeres se evidencia que C6: USA marca los comportamientos más eficientes para el gasto militar; mientras el clúster C3 lo hace para el IDH e IGP.

En cuanto a los países Bélgica, Canadá, República Checa, Eslovenia, Dinamarca, Alemania, Holanda y Noruega que conforman el clúster C3, son el grupo de países que más cercano están a la Frontera de Pareto Global. Por otro lado, el clúster C7: Turquía es el más alejado de la eficiencia.

Finalmente, hay que destacar que el trabajo realizado en este capítulo permitió evidenciar la fortaleza de los modelos planteados. Para ello, se modificó el carácter que pueden tener los objetivos, se incorporaron nuevas restricciones y variables de decisión, y se procuraron diferentes formas de agrupar los países de la OTAN. Continuando con esta línea de investigación, el siguiente capítulo (Capítulo 3) permitirá seguir desafiando al modelo al ejecutarlo con un conjunto de países que no pertenecen a la OTAN, con recursos e intereses diferentes pero centrados en un área geográfica concreta. El objetivo que se pretende se basa en proporcionar un instrumento útil que pueda ayudar a los agentes interesados en la toma de decisiones de manera eficiente.

## CAPÍTULO 3

### ESTUDIO DE LOS PAÍSES DE AMÉRICA DEL SUR

---



UNIVERSIDAD  
DE MALAGA

Hasta ahora, se ha analizado el comportamiento de los países de la OTAN bajo el prisma objeto de este trabajo, mostrando tanto la eficiencia con respecto de los tres objetivos marcados, como su correspondencia con decisiones presupuestarias. Entre otras tareas, se realizó un estudio análogo a los países de América del Sur con el fin de ver las similitudes y diferencias respecto de los países ya analizados. De esta manera, se cumple con el segundo escenario del objetivo marcado en nuestro estudio.

América del Sur está conformada por 12 países de gran heterogeneidad en superficie, población, sistemas políticos, económicos, sociales y culturales. Estas diferencias la convierten en una región única, condición que se traslada a los estudios que sobre ella se realizan, constituyendo un reto las generalizaciones o estructuras estándares de aplicación común.

Las realidades geopolíticas e historia territorial de América del Sur convirtieron a la seguridad y defensa en un tema de importancia superlativa. Disputas territoriales durante un periodo de 170 años han estado agitando la vida del subcontinente. Aunque los conflictos, casi siempre, tocaron fin con acuerdos y protocolos “de paz, amistad y límites”, los desacuerdos volvieron a la mesa con posteriores litigios y hasta planes de revancha por la vía

de las armas que demandaron un significativo porcentaje de los presupuestos nacionales para dedicarlos a la defensa nacional.

El conflicto Ecuador-Perú, la Guerra de la Triple Alianza, la Guerra del Pacífico y la Guerra del Chaco fueron algunos de los eventos bélicos superados para llegar a la condición actual de América del Sur, en la cual los impases y conflictos limítrofes se han resuelto casi en su totalidad como bien expone Battaglino (2015).

Sin embargo, nuevas amenazas han ido ganando terreno en la región: conflictos internos, tráfico de personas, armas y sustancias controladas, al igual que los riesgos de desastres naturales y antrópicos han generado sinergias entre los países fronterizos para poder enfrentarlas. Pero estas nuevas amenazas para la ciudadanía demandan también ingentes cantidades de recursos para la seguridad nacional y de la región, hasta el punto de que, el gasto militar en Colombia en el año 2009 alcanzó el 3,86% del PIB (justificado éste, en parte, por la necesidad de contrarrestar la violencia en momentos en los que la situación de inseguridad ha sido elevada, debido fundamentalmente a los grupos guerrilleros). Consecuentemente las posiciones de su impacto sobre los otros sectores del Estado es una preocupación constante y de permanente estudio.

En el presente capítulo, se aplicó un modelo similar al desarrollado en el capítulo previo, es decir, un modelo multiobjetivo, considerando los tres objetivos ya analizados, para los países de América del Sur, de los que se dispone de información en el mismo periodo muestral. La solución del modelo planteado permitió obtener soluciones Pareto eficientes para las tres funciones objetivo planteadas, GM, IDH e IGP, condicionadas a un conjunto de restricciones que reflejaron los puntos fundamentales relacionados con diferentes aspectos económicos, demográficos, sociales, de desarrollo y seguridad.

En la primera parte del presente capítulo se presenta el conjunto de países considerados para el estudio, periodo, datos recopilados y las variables seleccionadas para el análisis. La segunda parte contiene la metodología, incluyendo el modelo y su resolución. Posteriormente se exponen y discuten los resultados, realizando un estudio más pormenorizado de Ecuador y un análisis comparativo de los resultados obtenidos para América del Sur y los países de la OTAN. Finalmente se establecen las conclusiones.

### **3.1 Países, variables y bases de datos.**

El estudio se realizó sobre los países de América del Sur de los que se dispone de información en el periodo muestral analizado. Estos son: Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Chile, Ecuador, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela (es decir, todos, excepto Guyana y Surinam, véase Tabla 3.1). Hay que destacar que en estos países existen diferencias en sus monedas, sistemas económicos, estándares de medición entre otras. En tal sentido, buscando la estandarización se recurrió a fuentes de datos aceptadas globalmente para cada una de las variables utilizadas en esta investigación. El periodo muestral objeto de análisis fue el comprendido entre los años 2008-2016.

En el planteamiento del problema, se optó por mantener las 3 funciones objetivo. En lo relativo a las variables de decisión, y debido al singular carácter de los países objeto de análisis, se mantuvo variables tales como el gasto en salud, impuestos recaudados y Gasto en I+D. Por otro lado, también se conservó los Usuarios de Internet, Personas Privadas de Libertad y LPIB pc. Sin embargo, para plasmar de la forma más fehaciente posible la situación de estos países, se incluyeron nuevas variables que reflejan aspectos relacionados

con la seguridad y el desarrollo, así como, con el bienestar y la demografía, la globalización, conectividad y tamaño de la población que tienen una mayor relevancia en los países en las vías de desarrollo; de las cuales se realiza una reseña breve a continuación.

*Tabla 3.1 Países de América del Sur y datos disponibles para el estudio*

GM	IDH	IGP	PAÍSES VÁLIDOS AMÉRICA DEL SUR	CON DATOS
ARGENTINA	ARGENTINA	ARGENTINA		✓
BOLIVIA	BOLIVIA	BOLIVIA		✓
BRASIL	BRASIL	BRASIL		✓
CHILE	CHILE	CHILE		✓
COLOMBIA	COLOMBIA	COLOMBIA		✓
GUYANA	GUYANA	GUYANA		
ECUADOR	ECUADOR	ECUADOR		✓
PARAGUAY	PARAGUAY	PARAGUAY		✓
PERÚ	PERÚ	PERÚ		✓
SURINAM	SURINAM	SURINAM		
URUGUAY	URUGUAY	URUGUAY		✓
VENEZUELA	VENEZUELA	VENEZUELA		✓

10 PAÍSES



Países con información incompleta o no disponible

*Fuente: Elaboración propia en función de los datos de SIPRI, Banco Mundial, CEPAL y UNESCO*

El Índice de Globalización Política, representa al sector Desarrollo/Seguridad y es generada por el Instituto Suizo de Tecnología en Zúrich; el grado de globalización política es determinado por la cantidad de embajadas y altas comisiones en un país, la cantidad de organizaciones internacionales de las que el país es miembro, la cantidad de misiones de paz de la ONU en las que participó un país y la cantidad de tratados firmados entre dos o más Estados. Se mide en un rango de (0-100) y su interpretación es que a mayor valor mayor globalización.

El Índice de Globalización Social forma parte del sector Desarrollo/Seguridad, y sus datos se toman del Instituto Suizo de Tecnología en Zúrich. Este índice tiene tres dimensiones: contactos personales, flujos de información y proximidad cultural. El subíndice

de contactos personales incluye tráfico internacional de telecomunicaciones, grado de turismo, transferencias, población extranjera y número de cartas internacionales. El subíndice sobre flujos de información incluye el número de usuarios de Internet, la proporción de hogares con televisor y el comercio de periódicos. El subíndice de proximidad cultural incluye el comercio de libros y el número de restaurantes McDonald's e Ikea ubicados en un país. Se mide en un rango de (0-100) y su interpretación es que a mayor valor mayor globalización.

Como parte del sector de Desarrollo se incluye la Calidad de las carreteras; el indicador de calidad vial es uno de los componentes del Índice de Competitividad Global que publica anualmente el Foro Económico Mundial (WEF). Representa una evaluación de la calidad de las carreteras en un país determinado, basada en datos de la Encuesta de Opinión Ejecutiva WEF. Una encuesta extensa y de larga duración que aprovecha las opiniones de más de 14,000 líderes empresariales en 144 países. La puntuación del indicador de calidad de la carretera se basa en una sola pregunta. Se pide a los encuestados que califiquen las carreteras en su país de operación en una escala de 1 (poco desarrolladas) a 7 (extensas y eficientes según los estándares internacionales). Las respuestas individuales se agregan para producir una puntuación de país.

También como parte del desarrollo se considera la Calidad de la infraestructura del transporte aéreo igualmente generada por el Foro Económico Mundial. El indicador Calidad de la infraestructura del transporte aéreo es uno de los componentes del Índice de Competitividad Global que publica anualmente el Foro Económico Mundial (WEF). Representa una evaluación de la calidad de los aeropuertos en un país determinado basada en datos de la Encuesta de Opinión Ejecutiva WEF.

Finalmente, para incluir la demografía en el estudio, se añade el tamaño de la población, obtenida de la Organización de Naciones Unidas. Esta información se basa en la definición de población de facto, que cuenta a todos los residentes independientemente de su estatus legal o ciudadanía. Los valores mostrados son estimaciones de mitad de año y se miden en millones.

Para la obtención de las observaciones correspondientes a las variables anteriormente descritas se utilizó, por un lado, las fuentes ya descritas en el Capítulo 2 y, por otro, se añadieron las siguientes nuevas fuentes:

- **El Instituto Suizo de Tecnología en Zúrich**

El Swiss Institute of Technology in Zurich publica de manera anual el índice de globalización. Tiene tres dimensiones: el económico, político y social; este estudio considera, las dimensiones político y social<sup>4</sup>.

Su historia se remonta a 1938 cuando se estableció la Sociedad de Investigación Económica (Gesellschaft für Wirtschaftsforschung) y el Instituto de Investigación Económica asociado (Institut für Wirtschaftsforschung). El Instituto de Investigación Económica cambió su nombre por el de Instituto Económico Suizo (KOF) (Konjunkturforschungsstelle). El Instituto realizó sus primeras encuestas entre empresas en 1955 las cuales son la piedra angular de sus actividades de investigación.

- **Foro Económico Mundial**

Es una Organización Internacional<sup>5</sup> para la Cooperación Público-Privada, en el que participan líderes políticos, comerciales y culturales de la sociedad para generar agendas

---

<sup>4</sup> <https://kof.ethz.ch/en/forecasts-and-indicators/indicators/kof-globalisation-index.html>

<sup>5</sup> <https://es.weforum.org>

mundiales, regionales e industriales. Se estableció en 1971 como una fundación sin fines de lucro con sede en Ginebra (Suiza) y orienta sus esfuerzos en evidenciar el espíritu empresarial en el interés público, para lo cual combina y equilibra organizaciones del sector público y privado, internacionales y académicas.

La Tabla 3.2 expone el listado de las nuevas fuentes para las variables utilizadas en este capítulo, así como el vínculo a sus páginas institucionales.

*Tabla 3.2 Fuentes adicionales para el grupo de países de América del Sur.*

Fuente	Página Institucional	Variable	Sector
El Instituto Suizo de Tecnología en Zurich	<a href="https://kof.ethz.ch/en/forecasts-and-indicators/indicators/kof-globalisation-index.html">https://kof.ethz.ch/en/forecasts-and-indicators/indicators/kof-globalisation-index.html</a>	Índice de Globalización Política; Índice de Globalización Social.	Desarrollo /Seguridad
Foro Económico Mundial	<a href="https://es.weforum.org">https://es.weforum.org</a>	Calidad de las carreteras; Calidad de la infraestructura del transporte aéreo.	Seguridad

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.2 Modelo multiobjetivo.

En cualquier país en general y, por lo tanto, también en los países de América del Sur, el desarrollo humano está muy ligado a la ampliación de oportunidades para acceder a una vida más larga, plena y saludable. En el modelo desarrollado, y como ya fue comentado en el capítulo previo, el objetivo correspondiente al IDH se planteó a maximizar, ya que, se entiende como relevante para el progreso de la actividad humana y el impulso del crecimiento económico. Del mismo modo, se consideró importante mantener la paz y la seguridad, ya

que, si se evitan los conflictos se puede mitigar el sufrimiento humano y los importantes costes económicos en los que incurren los países que están en conflicto. Para tratar de lograr las mejores condiciones de paz interna y externa, el IGP se incorporó al modelo como un objetivo a minimizar puesto que, cuanto menor sea este índice, serán mejores las condiciones de paz de un país.

Como se expuso en el capítulo 2, en la literatura analizada existe una mayor controversia respecto del carácter que ha de tener el GM. En este caso, se elige por incluir el objetivo GM a maximizar. Los motivos que llevaron a esta decisión se basan en la importancia que tiene para fortalecer la democracia en los sistemas políticos de los países analizados, mantener la seguridad y la defensa nacional, fundamentalmente en situaciones convulsas y de incertidumbre como la generada, por ejemplo, con la reciente invasión de Ucrania. Teniendo en cuenta estos objetivos, el modelo se formuló en función de lo expuesto y desarrollado en el capítulo previo.

En primer lugar, se realizó un análisis descriptivo de las variables del modelo, para posteriormente formular el modelo y su resolución.

### **3.2.1 Análisis descriptivo de las variables del modelo.**

La Tabla 3.3 muestra algunos de los estadísticos descriptivos más representativos para analizar el comportamiento tanto de los objetivos como de las variables de decisión del problema planteado para los países de América del Sur, objeto de análisis.

*Tabla 3.3 Variables y descripción estadística para el caso de América del Sur*

Variable	Notación	Promedio	DE	CV	Mín	Máx	Simetría
Gasto militar en USD como % PIB	$y_1$	1.774	0.801	0.452	0.454	3.863	0.713
Índice de Desarrollo Humano (IDH)	$y_2$	0.751	0.049	0.065	0.647	0.843	-0.021
Índice Global de Paz (IGP)	$y_3$	2.102	0.312	0.149	1.623	2.908	0.784
Gasto en Salud como % PIB	$x_1$	4.671	0.802	0.172	2.664	6.300	-0.350
Impuestos Recaudados como % PIB	$x_2$	17.958	4.435	0.247	8.070	25.640	-0.428
Gasto en I+D como % PIB	$x_3$	0.358	0.324	0.904	0.002	1.343	1.619
Usuarios de Internet	$x_4$	43.817	14.472	0.330	12.500	83.560	0.130
Índice de Globalización Política (0-100)	$x_5$	80.175	6.144	0.077	71.840	92.470	0.565
Índice de Globalización Social (0-100)	$x_6$	65.473	5.863	0.090	56.240	76.890	0.446
Calidad de las carreteras. 1(Bajo) - 7(Alto)	$x_7$	3.299	0.965	0.292	1.760	5.880	1.217
Calidad infraestructura del transporte aéreo. 1 (baja) - 7 (alta)	$x_8$	3.905	0.845	0.216	2.190	6.040	0.307
Tamaño de la población. en millones (Log)	$x_9$	3.063	1.090	0.356	1.206	5.329	0.278
Número de personas privadas libertad	$x_{10}$	5.196	0.414	0.080	4.344	5.869	-0.325
LPIB pc	$x_{11}$	9.466	0.377	0.040	8.555	10.026	-0.622

*Fuente: Elaboración propia*

En lo relativo a los objetivos, se puede destacar que, tanto el GM como el IGP tienen medias menos representativas, causadas por mayores valores del CV, en comparación con el del IDH. Con lo cual en determinados momentos del periodo muestral analizado existen diferencias significativas entre los diferentes países. Por ejemplo, se observó que Colombia es quien realiza el mayor GM, 3.863 % del PIB, y Venezuela registra el menor de 0.454%; el mayor nivel de desarrollo humano lo presenta Chile 0.843 y Bolivia el menor 0.647. Finalmente, la mejor condición de paz fue lograda por Chile 1.623, mientras que la peor le correspondió a Colombia con el 2.908. Además, mientras que el IDH tiene un coeficiente de asimetría prácticamente nulo, las distorsiones superiores a la media hacen que exista una asimetría positiva en el GM e IGP.

Si se analiza la información relativa a las variables de decisión del problema, se puede decir que existen diferencias entre ellas, ya que ni la dispersión ni la asimetría se comporta de la misma forma. Así, por ejemplo, entre las variables con una mayor dispersión y con una media más alejada de los valores que representa se encuentran variables tales como el gasto

en I+D como porcentaje del PIB, el tamaño de la población y los usuarios de internet (cuyos coeficientes de variación respectivamente son 0.904, 0.350 y 0.33). Por el contrario, entre las variables con una menor dispersión y con valores medios más representativos se puede destacar el LPIB, el índice de globalización política y el número de personas en libertad (cuyos coeficientes de variación de Pearson son, respectivamente, 0.04, 0.077 y 0.08). En cuanto a la distribución de los valores alrededor de la media, hay que comentar que todas las variables presentan asimetría positiva (excepto el gasto en salud como porcentaje del PIB, los impuestos recaudados como porcentaje del PIB, el número de personas privadas de libertad y el PIB con asimetría negativa). Las mayores diferencias en lo relativo a la asimetría positiva se producen en el gasto en investigación y desarrollo como porcentaje del PIB y la calidad de las carreteras.

El comportamiento de estas variables se debe a las diferentes realidades de los países analizados. Así, por ejemplo, el país que más invirtió en educación en el periodo de estudio fue Bolivia y el que menos lo hizo fue Perú. En lo referente a investigación y desarrollo, Brasil es el líder y Bolivia el más rezagado. El uso del internet es mayor en Chile y menor en Bolivia. Por su parte, Brasil es el país que presentó la recaudación más alta de impuestos y Paraguay la menor. En cuanto al Índice de Globalización Política, Argentina presenta el más alto nivel y Venezuela el menor; por el contrario, en el índice de globalización social Uruguay tiene el más alto nivel y Bolivia el más bajo.

En cuanto a las mejores vías terrestres e infraestructura de transporte aéreo se encuentra Chile como líder en la región y las peores en Paraguay. El país más poblado es Brasil y el menor Uruguay; la mayor cantidad de personas privadas de libertad la presenta Chile y la menor Bolivia. Finalmente, el PIB pc más alto lo tiene Chile y el más bajo Bolivia.

### 3.2.2 Formulación del modelo multiobjetivo.

Como fue expuesto y fundamentado previamente, buscamos maximizar el IDH y GM y minimizar el IGP explicándolos con 11 variables, de las cuales cinco son nuevas en el estudio: Índice de Globalización Política, Índice de Globalización Social, Calidad de las carreteras, Calidad infraestructura del transporte aéreo y Tamaño de la población. La metodología desarrollada es análoga a la utilizada en el capítulo previo. Sin embargo, en esta sección no se recurre al análisis por clúster debido al reducido número de países en la muestra.

#### Estimación de las funciones objetivo.

Para la determinación de las funciones objetivo y de las funciones de restricción se aplicó el modelo de datos de panel con efectos fijos. Los resultados de las ecuaciones estimadas para el GM, IDH e IGP se muestran en la Tabla 3.4.

Los resultados del análisis estadístico muestran que las variables con el mayor peso para el GM son Gasto en I+D, Tamaño de la población y LPIB pc, mientras que para el IDH aparecen como las más influyentes el LPIB pc, Número de personas privadas libertad y Tamaño de la población; el Gasto en I+D, Tamaño de la población y LPIB pc son las más importantes para el IGP. El tamaño de la población y el LPIB pc son factores determinantes para los tres indicadores; y, el Gasto en I+D es influyente para el GM y el IGP.

*Tabla 3.4 Determinantes del GM, IDH e IGP para los países de América del Sur (modelo de datos de panel con efectos fijos, periodo 2008-2016)*

Variable	Notación	GM	IDH	IGP
Gasto en Salud como % PIB	X <sub>1</sub>	0.218***	-0.003*	0.048*
Impuestos Recaudados como % PIB	X <sub>2</sub>	0.029	0.001	0.012*
Gasto en I+D como % PIB	X <sub>3</sub>	-2.695***	-0.021**	-1.238***
Usuarios de Internet	X <sub>4</sub>	-0.035***	0.001***	-0.005**
Índice de Globalización Política (0-100)	X <sub>5</sub>	-0.194***	0.001*	-0.053***
Índice de Globalización Social (0-100)	X <sub>6</sub>	0.311***	0.003***	0.057***
Calidad de las carreteras. 1(Bajo) - 7(Alto)	X <sub>7</sub>	-0.292*	0.009***	-0.177**
Calidad infraestructura del transporte aéreo. 1 (baja) - 7 (alta)	X <sub>8</sub>	0.527***	-0.004	0.101*
Tamaño de la población. en millones (Log)	X <sub>9</sub>	1.178***	0.011***	0.453***
Número de personas privadas libertad	X <sub>10</sub>	0.669***	-0.024***	0.019
LPIB pc	X <sub>11</sub>	-1.080***	0.057***	0.168**
R <sup>2</sup>		0.735	0.967	0.791
Número de países		10	10	10
Número de observaciones		90	90	90
Número de observaciones para cada país		9	9	9

\*\*\* significativo al 1 %, \*\* al 5 %, \* al 10 %

*Fuente: Elaboración propia*

En cuanto a la dirección de la influencia de las variables más relevantes, podemos mencionar que el tamaño de la población presenta coeficientes positivos por tanto contribuyen a mejorar al GM e IDH que se buscan maximizar mientras que desmejora al IGP que se busca minimizar. El LPIB pc contribuye a mejorar al IDH y a desmejorar al GM e IGP. Finalmente, el Gasto en I+D contribuye a la mejora del IGP y se contrapone al GM e IDH.

En cuanto a la capacidad explicativa del modelo se observa que la fiabilidad más alta recae en el IDH con R<sup>2</sup> de 0.967. Un poco menor, aunque bastante aceptable, es la correspondiente al GM cuyo R<sup>2</sup> es igual a 0.735.

Las funciones objetivo para este caso vienen expresadas por:

$$f_1 = 0.218 x_1 + 0.029 x_2 - 2.695 x_3 - 0.035 x_4 - 0.194 x_5 + 0.311 x_6 - 0.292 x_7 + 0.527 x_8 + 1.178 x_9 + 0.669 x_{10} - 1.080 x_{11}$$

$$f_2 = -0.003 x_1 + 0.001 x_2 - 0.021 x_3 + 0.001 x_4 + 0.001 x_5 + 0.003 x_6 + 0.009 x_7 - 0.004 x_8 \\ + 0.011 x_9 - 0.024 x_{10} + 0.057 x_{11}$$

$$f_3 = 0.048 x_1 + .012 x_2 - 1.238 x_3 - 0.005 x_4 - 0.053 x_5 + 0.057 x_6 - 0.177 x_7 + 0.101 x_8 + 0.453 x_9 \\ + 0.019 x_{10} + 0.168 x_{11}$$

### Estimación de las restricciones.

Las estimaciones de las restricciones de nuestro modelo fueron análogas a las realizadas en los modelos previos, en este caso relativas a los datos del caso de estudio, obteniéndose como coeficientes de las funciones de restricción las se muestran a continuación.

*Tabla 3.5 Parámetros estimados para las restricciones del modelo multiobjetivo para los países de América del Sur (modelo de datos de panel con efectos fijos, periodo 2008-2016)*

Restricción	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$
Gasto en Salud % PIB	1.000	-0.135	-0.070	0.005	0.060	-0.031	-0.050	0.206	-0.091	0.450	-0.838
Impuestos Recaudados % PIB	-2.225	1.000	-6.074	-0.078	-0.529	0.491	0.042	-0.736	1.303	1.317	1.460
Gasto en I+D como % PIB	-0.004	-0.024	1.000	0.005	0.040	0.071	-0.036	0.092	-0.335	-0.073	0.266
Usuarios de Internet	1.316	-1.155	18.579	1.000	1.846	-3.585	-2.752	5.797	-11.713	-11.996	14.334
Índice de Globalización Política	0.923	-0.491	9.497	0.116	1.000	-1.299	-0.023	0.537	-4.652	0.397	1.165
Índice de Globalización Social	-0.187	0.177	-6.635	-0.088	-0.506	1.000	-0.095	-0.665	3.544	0.598	-3.390
Calidad de las carreteras	-0.036	0.002	-0.408	-0.008	-0.001	-0.011	1.000	-0.836	0.255	-0.024	0.084
Calidad infraestructura transporte aéreo	0.124	-0.027	0.869	-0.014	0.021	-0.067	0.703	1.000	-0.432	-0.391	0.366
Tamaño de la población	-0.033	0.028	-1.887	-0.017	-0.109	0.214	0.128	-0.258	1.000	0.093	-0.754
Número personas privadas libertad	0.082	-0.015	-0.209	-0.009	0.005	0.018	-0.006	-0.118	0.047	1.000	-0.645
LPIB pc	-0.153	0.016	0.763	0.011	0.014	-0.104	0.021	0.111	-0.384	-0.650	1.000

El p-valor para el que las variables son significativas es 0.15.

Fuente: *Elaboración propia*

Obtenidas las mismas, son evaluadas en los valores muestrales de todos los países a lo largo del periodo; los valores mínimos y máximos de dichas evaluaciones serán las cotas inferiores y superiores de nuestras restricciones, asegurando que todos los hechos

acontecidos en dichos años sean factibles. Las cotas,  $L_j^{inf}$  y  $L_j^{sup}$  se muestran en la siguiente tabla.

*Tabla 3.6 Valores límites de las restricciones*

$j$	Límite inferior ( $L_j^{inf}$ )	Límite superior ( $L_j^{sup}$ )
1	-0.459	0.409
2	11.367	16.044
3	8.496	10.335
4	-7.553	7.030
5	-2.115	2.096
6	-1.199	1.113
7	-0.394	0.481
8	2.287	4.383
9	-0.311	0.285
10	-0.248	0.202
11	-0.172	0.171

*Fuente: Elaboración propia*

En lo relativo a las cotas de las variables de decisión,  $N_j^{Min} \leq x_j \leq N_j^{Max}$ ;  $\forall j \in \{1,2, \dots, 11\}$ , alcanzan los siguientes valores inferiores y superiores:

*Tabla 3.7 Cotas de las variables*

Variable	Cota inferior ( $N_j^{Min}$ )	Cota superior ( $N_j^{Max}$ )
$x_1$	2.664	6.300
$x_2$	8.070	25.640
$x_3$	0.002	1.343
$x_4$	12.500	83.560
$x_5$	71.840	92.470
$x_6$	56.240	76.890
$x_7$	1.760	5.880
$x_8$	2.190	6.040
$x_9$	1.206	5.329
$x_{10}$	4.344	5.869
$x_{11}$	8.555	10.026

*Fuente: Elaboración propia*

### Modelo Multiobjetivo.

El modelo formulado en el caso de los países de América del Sur, también tiene los mismos 3 objetivos que para los países de la OTAN, sin embargo, difieren en el número de variables consideradas y, en consecuencia, en el número de restricciones incorporadas. El planteamiento del modelo es:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Max GM} = \text{Max } y_1 = \sum_{j=1}^{11} a_{j1} x_j \\ \text{Max IDH} = \text{Max } y_2 = \sum_{j=1}^{11} a_{j2} x_j \\ \text{Min IGP} = \text{Min } y_3 = \sum_{j=1}^{11} a_{j3} x_j \\ \text{sa: } \left\{ \begin{array}{l} L_j^{inf} \leq \sum_r c_{jr} x_r \leq L_j^{sup}; \forall j \in \{1,2, \dots, 11\} \\ N_j^{Min} \leq x_j \leq N_j^{Max}; \forall j \in \{1,2, \dots, 11\} \\ x_j \geq 0 \forall i; y_1 \geq 0, 0 \leq y_2 \leq 1, y_3 \geq 1 \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (4)$$

Donde:

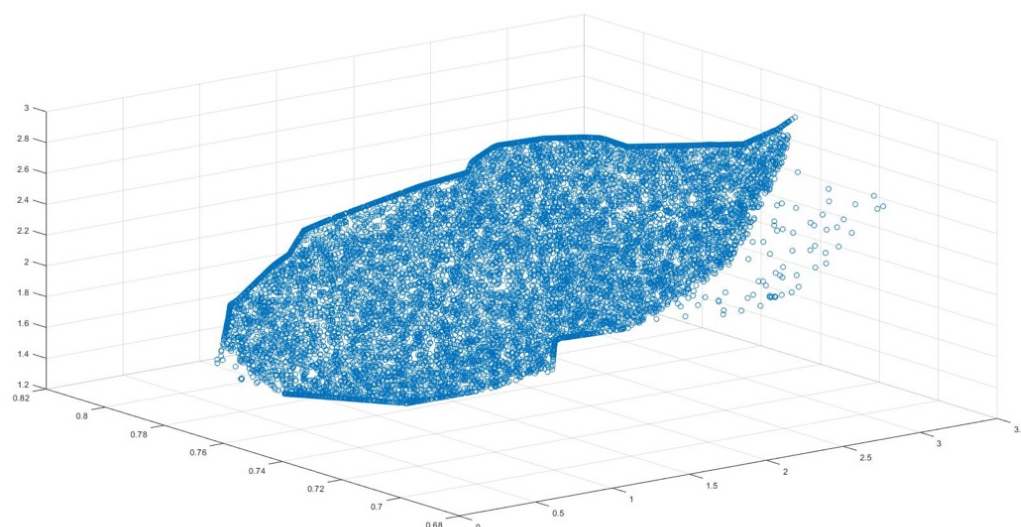
$a_{jk}$ : Coeficiente de la ecuación de  $y_k$  respecto a  $x_j \forall j, k$  según Tabla 3.4.

$c_{jr}$ : Coeficientes de las restricciones según Tabla 3.5.

$L_j^{inf}; L_j^{sup}$ : Límite inferior y superior de las restricciones Tabla 3.6.

$N_j^{Min}; N_j^{Max}$ : Cotas mínimas y máximas de las variables explicativas Tabla 3.7

Al resolver el modelo planteado para los datos observados correspondientes al conjunto de datos de los 10 países de América del Sur, se obtiene la Frontera de Pareto, formada por el conjunto de soluciones eficientes que se muestra en la siguiente figura.



*Figura 3.1 Frontera Eficiente generada para los objetivos de GM, IDH e IGP para los 10 países de América del Sur*  
 Fuente: Elaboración propia

### 3.2.3 Resolución y análisis de resultados.

La Tabla 3.8 muestra los rangos de variación de los objetivos GM ( $y_1$ ) medido como porcentaje del PIB, del IDH ( $y_2$ ) un índice que mientras mayor es su valor, representa un mejor nivel de desarrollo y del IGP ( $y_3$ ) un índice que cuanto menor, representa mejores condiciones de paz de un país.

*Tabla 3.8 Límites de la Frontera de Pareto para los valores de las funciones objetivo aplicadas a los datos de 10 países de América de Sur*

Variable	Notación	Mín	Máx
Gasto Militar	$y_1$	0.414	3.221
Índice de Desarrollo Humano	$y_2$	0.699	0.806
Índice Global de Paz	$y_3$	1.390	2.887

Fuente: Elaboración propia

El conjunto de datos de la Frontera de Pareto muestra un rango de variación de las funciones objetivo, coherente, válido y significativo. Asociado a estos, la Tabla 3.9 muestra

los rangos de variación de las variables explicativas correspondientes a las soluciones eficientes recogidas en la Frontera de Pareto.

*Tabla 3.9 Límites de las variables de decisión asociadas a la Frontera de Pareto*

<b>Variable</b>	<b>Notación</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>
Gasto en Salud como % PIB	$x_1$	4.085	5.347
Impuestos Recaudados como % PIB	$x_2$	14.568	22.315
Gasto en I+D como % PIB	$x_3$	0.107	0.454
Usuarios de Internet	$x_4$	31.394	56.120
Índice de Globalización Política (0-100)	$x_5$	74.396	86.112
Índice de Globalización Social (0-100)	$x_6$	60.816	72.502
Calidad de las carreteras, 1(Bajo) – 7(Alto)	$x_7$	2.910	3.676
Calidad infraestructura del transporte aéreo, 1 (baja) – 7 (alta)	$x_8$	3.284	4.478
Tamaño de la población, en millones (Log)	$x_9$	2.202	3.778
Número de personas privadas libertad	$x_{10}$	4.923	5.595
LPIB pc	$x_{11}$	9.202	9.831

*Fuente: Elaboración propia*

La Figura 3.2 permite comparar los rangos de variación del GM y los índices de IDH e IGP observados en el periodo de estudio con los resultantes del modelo en relación con las funciones objetivo GM ( $y_1$ ), IDH ( $y_2$ ) e IGP ( $y_3$ ).

Se observa que el modelo promueve un gasto militar dentro de un rango menor y con cotas máximas y mínimas inferiores a las observadas en los países durante el periodo de estudio. El desarrollo humano también presenta un comportamiento similar, su rango es más estrecho; el mejor nivel de IDH que arroja el modelo es inferior al mejor observado, pasa de 0.84 a 0.81, pero el menor valor de desarrollo mejora ya que pasa de 0.65 a 0.70. Finalmente, las condiciones de paz tienen opciones dentro de un rango más amplio y con mejores niveles, tanto para los menos pacíficos que pasa de 2.91 a 2.89 como para los más pacíficos que pasan de 1.62 a 1.39, siendo este último un cambio significativo. Cabe recordar que para la condición de paz un menor valor es mejor.

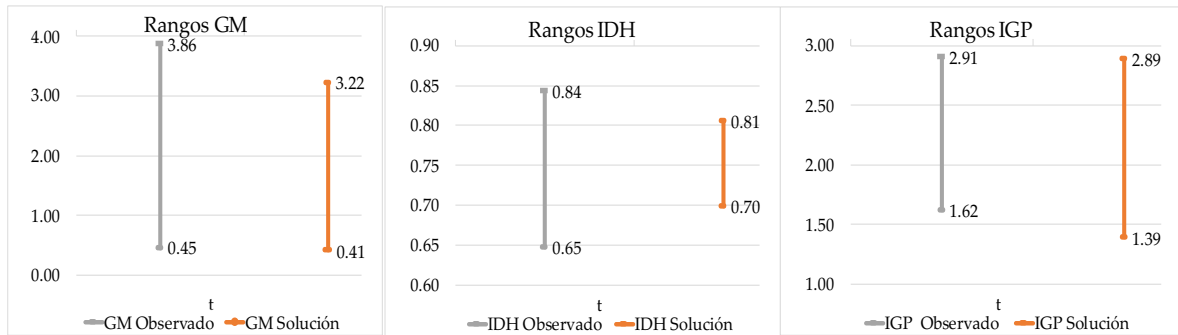


Figura 3.2 Comparación de rangos del GM, IDH e IGP de la Frontera de Pareto y el real observado en los países durante el periodo de estudio 2008-2016.

Fuente: Elaboración propia

Se infiere entonces, que el modelo logra identificar situaciones de mejor equilibrio entre los tres objetivos, fundamentalmente en los límites inferiores; es decir, promueve que los países menos desarrollados mejoren sus condiciones y que los países menos pacíficos logren mejores niveles de paz. El conjunto de soluciones eficientes del modelo no llega a superar las mejores condiciones desarrollo humano observadas, pero tampoco llegan a los peores niveles de paz presentadas en los países durante el periodo de estudio.

En cuanto a las variables de decisión, la Figura 3.3 muestra la comparación de los límites de variación entre lo observado y lo resultante del modelo.

De manera general se observa que las variables explicativas presentan un comportamiento similar al de las funciones objetivo, sus rangos son más estrechos y hay un evidente cambio en los límites inferiores y superiores de todas las variables explicativas. La propuesta del modelo es positiva para la inversión en salud, investigación y desarrollo, usuarios de internet, globalización social y política, calidad de infraestructura de transporte terrestre y aéreo, crecimiento de la población y PIB pc. Las soluciones promueven que las peores condiciones observadas en estos sectores mejoren; el aumento de las cotas inferiores implica que o recibirían más recursos o mejorarían sus índices.

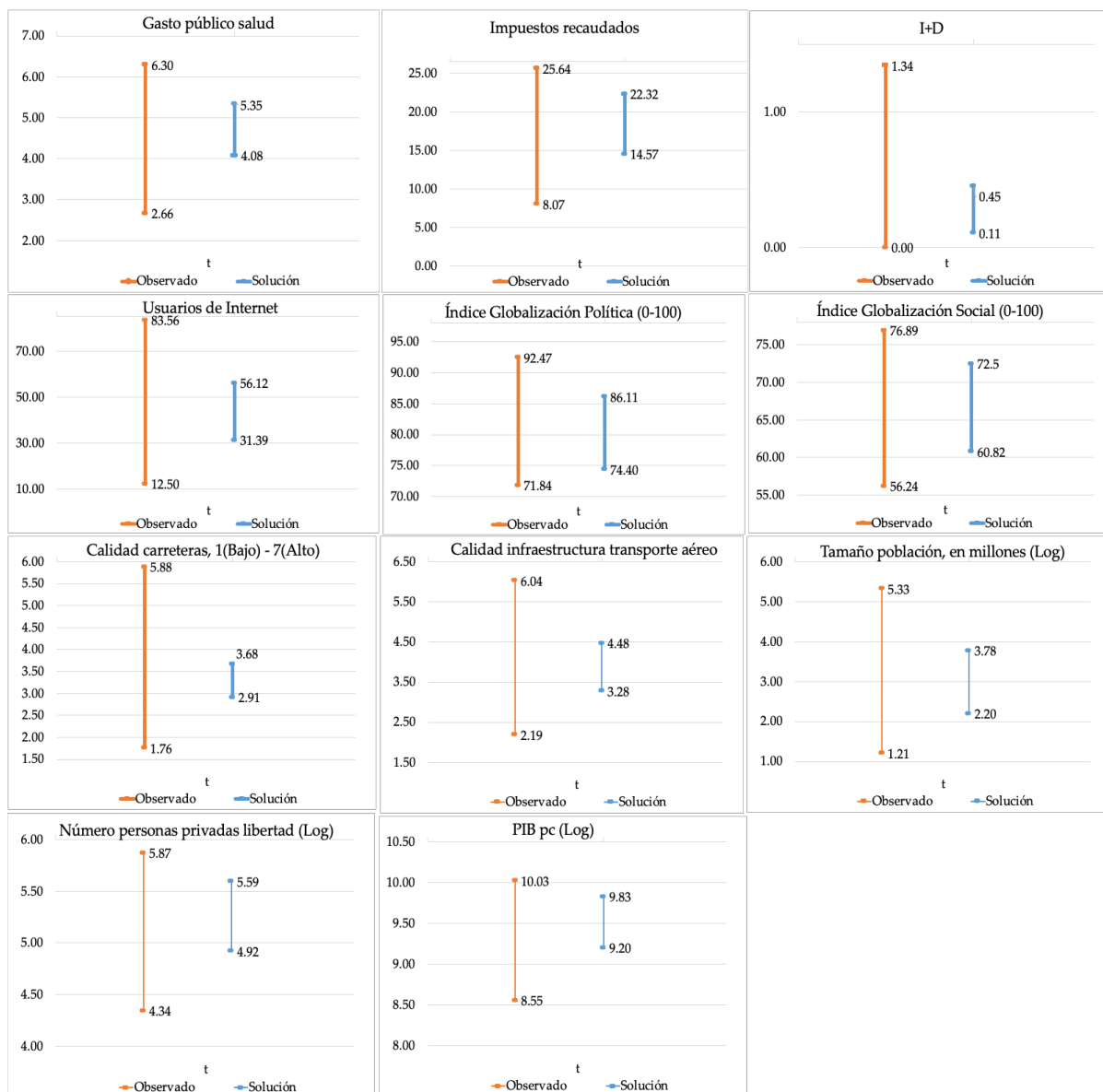


Figura 3.3 Comparación de los rangos de variación de las variables explicativas observados y del modelo

Fuente: Elaboración propia

En contraparte, la menor cantidad de personas privadas de libertad aumentan entre la solución y lo observado. Pasa de 4.34 a 4.92 por cada cien mil habitantes y también la menor carga impositiva observada de 8.07% del PIB sube en las soluciones a 14.57% del PIB lo cual implica que la inseguridad crecería y que la población deberá pagar más impuestos para lograr mejoras en los otros sectores.

Los resultados permiten sintetizar que el modelo, desde el lado de las variables de decisión, que representan a la seguridad, desarrollo, educación, tecnología y globalización, promueve alivios presupuestarios en los límites superiores para mejorar los límites inferiores, a la vez que aumentan la carga fiscal para estos mismos fines. En el uso de la tecnología, globalización y calidad de infraestructura de transporte también busca comportamientos que promueven mejorar las condiciones en aquellos países que presentan las menos favorables en el comportamiento observado. El modelo persigue un acortamiento de las brechas, lo que puede observarse al analizar los valores promedios de las soluciones que, por lo general, son superiores a los observados.

Finalmente, se evidencia amplitud en las soluciones con lo cual los tomadores de decisiones pueden tener una gama amplia de alternativas que tiendan a la eficiencia en concordancia con la realidad o aspiraciones de cada país.

Para observar la posición de los países respecto de la Frontera Eficiente se generó la Figura 3.4. La primera contribución de esta acción es poder observar que la Frontera Eficiente domina a todos los países, en consecuencia, se valida el método y la coherencia de los resultados.

Como se observa, algunos países tienen puntos muy cercanos a la Frontera Eficiente como es el caso de Chile, Uruguay y Ecuador. De igual manera se advierte algunos alejados de la misma por su comportamiento en uno o varios objetivos. Finalmente, se puede concluir que todos los países tienen posibilidades de mejorar; por tanto, estos resultados podrían ser la guía para la toma de decisiones y establecimiento de políticas públicas. Para ello bastaría con analizar aquellas situaciones, en la Frontera Eficiente, que logran mejorar los criterios. No obstante, y con el fin de mostrar el acercamiento a dicha frontera, se determinó aquellas

soluciones que son las más próximas a su situación actual, aunque ello conlleve el empeoramiento de alguno de los objetivos.

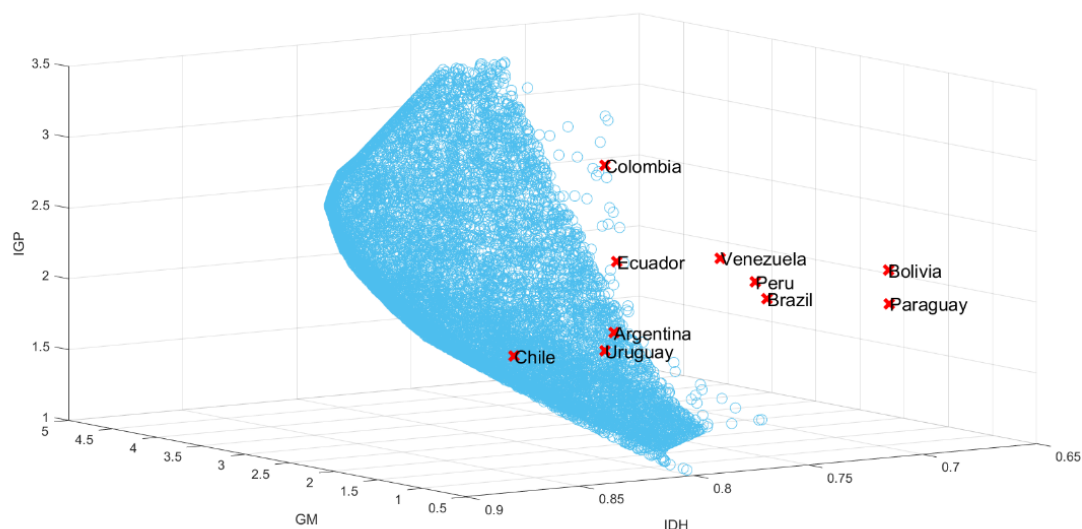


Figura 3.4 Ubicación de los 10 países de América del Sur respecto a la Frontera Eficiente Fuente: Elaboración propia

La Tabla 3.10 muestra las coordenadas de ubicación de los países, obtenidas de las medianas de sus datos observados, el punto más cercano de la Frontera Eficiente y el porcentaje que mejoraría, o empeoraría, cada componente en caso de alcanzar la misma.

Tabla 3.10 Valores de coordenadas para la ubicación de los países respecto a la frontera, puntos de eficiencia más cercano a cada país y porcentaje de mejora de cada objetivo

País	Datos observados (Medianas)			Punto referencia frontera			Diferencia (%)		
	GM	IDH	IGP	GM	IDH	IGP	GM	IDH	IGP
Argentina	0.815	0.823	2.007	0.771	0.840	1.564	-5.400	2.000	-22.100
Bolivia	1.841	0.663	2.084	1.846	0.864	1.914	0.200	30.300	-8.200
Brasil	1.379	0.734	2.043	1.683	0.859	1.842	22.100	17.000	-9.800
Chile	2.047	0.819	1.687	2.049	0.836	1.685	0.100	2.100	-0.100
Colombia	3.167	0.736	2.774	3.168	0.853	2.495	0.000	15.900	-10.100
Ecuador	2.876	0.742	2.138	2.911	0.846	2.146	1.200	14.000	0.400
Paraguay	0.952	0.697	2.005	0.968	0.842	1.599	1.700	20.800	-20.300
Perú	1.512	0.734	2.148	1.683	0.859	1.842	11.300	17.000	-14.200
Uruguay	1.821	0.788	1.703	1.823	0.844	1.701	0.100	7.100	-0.100
Venezuela	1.162	0.763	2.401	0.968	0.842	1.599	-16.700	10.300	33.400

Fuente: Elaboración propia

Si se organizan los países en función de la cercanía a la frontera, el orden sería: Chile, Uruguay, Ecuador, Argentina, Colombia, Venezuela, Bolivia, Perú, Paraguay y Brasil. Consecuentemente, si los países alcanzaran la frontera aquellos que lograrían cambios más grandes serían Brasil, Paraguay y Perú y los de menor cambio Chile, Uruguay y Ecuador.

Si tomamos el ejemplo de Argentina, en el caso de alcanzar su punto más cercano a la frontera, su GM disminuiría 5.4%, su desarrollo humano mejoraría un 2% y su condición de paz mejora en un 22.1%. Para el caso de Ecuador alcanzar la Frontera Eficiente le significaría aumentar un 1.2% el gasto militar, aumentar el desarrollo humano en 14% y desmejoraría su nivel de paz en un 0.4%.

Mirando los puntos de referencia más cercanos, para cada país, generados por el modelo (Tabla 3.10) se puede inferir que si este grupo de países lograra la eficiencia, Colombia continuaría con el gasto militar más alto de la región con un comportamiento similar al observado en el periodo de estudio; Bolivia pasaría de ser el país con menor nivel de desarrollo (0.663) al de mayor nivel (0.864); y, Argentina lograría las mejores condiciones de paz (1.564) superando a Chile que alcanzó el mejor indicador en el periodo de estudio (1.687).

Cada solución tiene su contraparte en el conjunto de soluciones de variables de decisión que se muestran en la Tabla 3.11.

*Tabla 3.11 Valores de las variables explicativas correspondientes al punto de eficiencia más cercano a cada país*

<b>País</b>	<b><math>x_1</math></b>	<b><math>x_2</math></b>	<b><math>x_3</math></b>	<b><math>x_4</math></b>	<b><math>x_5</math></b>	<b><math>x_6</math></b>	<b><math>x_7</math></b>	<b><math>x_8</math></b>	<b><math>x_9</math></b>	<b><math>x_{10}</math></b>	<b><math>x_{11}</math></b>
Argentina	4.745	25.640	1.290	69.350	92.470	71.971	5.150	5.253	5.329	5.594	10.026
Bolivia	4.641	25.640	1.043	82.288	92.470	74.346	5.485	5.619	5.329	5.668	10.026
Brasil	4.631	25.640	1.087	80.654	92.470	74.003	5.445	5.567	5.329	5.638	9.986
Chile	4.704	25.640	1.343	83.560	86.995	73.784	5.564	5.501	5.209	5.869	9.799
Colombia	5.872	25.640	0.002	73.245	92.470	76.277	4.762	5.755	2.991	5.376	10.026
Ecuador	6.228	25.640	0.876	83.560	86.710	75.114	5.144	5.597	4.324	5.750	10.026
Paraguay	4.685	25.640	1.255	72.240	92.470	72.433	5.228	5.326	5.329	5.577	9.963
Perú	4.631	25.640	1.087	80.654	92.470	74.003	5.445	5.567	5.329	5.638	9.986
Uruguay	4.373	25.640	1.162	83.560	91.918	74.086	5.580	5.646	5.329	5.785	9.738
Venezuela	4.685	25.640	1.255	72.240	92.470	72.433	5.228	5.326	5.329	5.577	9.963

*Fuente: Elaboración propia*

La tabla anterior permite varios análisis, por ejemplo, de manera vertical hace posible identificar los valores máximos y mínimos para cada variable explicativa y a la vez determinar en qué país se presentan estas condiciones. Así mismo, si miramos los datos de manera horizontal podemos determinar los valores que alcanza un país para cada variable explicativa y si este corresponde al máximo o al mínimo. A continuación, se desarrollan algunos análisis de estos casos posibles.

Por el lado de las variables explicativas, se observa que si los países alcanzaran estos puntos de eficiencia el mayor gasto en salud ( $x_1$ ) lo realizaría Ecuador con 6.228% del PIB, y el menor gasto lo realizaría Uruguay con 4.373 % del PIB. Resultados que benefician a la región ya que el menor gasto observado en este sector (2.664%) se superaría ampliamente.

La recaudación de impuestos ( $x_2$ ) constituye la principal fuente de captación de recursos, ya que, toma el máximo valor observado 25.640% del PIB en todos los países. Por otro lado, el PIB pc ( $x_{11}$ ) mejora, cuatro países alcanzan el valor más alto: Argentina, Bolivia, Colombia y Ecuador. El menor valor de \$ 9.738 se observa en Uruguay, este valor está por

encima del menor observado de \$ 8.555, lo que implica que la riqueza personal mejora en la región.

Por el lado de la seguridad, el menor número de personas privadas de libertad ( $x_{10}$ ) se presenta en Colombia con 5.376; este valor es superior al observado, 4.344, consecuentemente la inseguridad crece para la región. Finalmente los índices de globalización política ( $x_5$ ) y social ( $x_6$ ) mejoran notablemente. En el primero, la mayoría de los países superan los 91 puntos excepto Chile y Ecuador que logran valores superiores a 86; el menor valor observado fue de 71.840 puntos (Tabla 3.3). Por el lado del índice social, en las soluciones, todos los países logran valores sobre los 70 puntos; el menor observado fue 56.240 (Tabla 3.3).

Al observar los datos de manera horizontal, por el lado de los países, se evidencia por ejemplo que Colombia lograría las mejores condiciones en los índices de globalización política y social, calidad de la infraestructura del transporte aéreo y PIB pc. Como aspectos negativos, su inversión en I+D sería la más baja de la región al igual que la calidad de las carreteras. Se podría pensar que este país prioriza su política de externalización ya que sus vías de comunicación área mejoran y su posicionamiento en el mundo tiene los resultados superiores de la región.

### 3.3 El caso de Ecuador.

Para el caso de Ecuador se realizó un análisis adicional que permitiera identificar las posibilidades de mejora de este país. La Figura 3.4 muestra que Ecuador se ubica como el

tercer país más cercano a la Frontera Eficiente, siendo los primeros Chile y Uruguay; le siguen a Ecuador: Argentina y Colombia.

La Tabla 3.12 muestra los valores del GM, IDH e IGP que resultan de las medianas de los datos observados en el periodo de estudio y que sirven para ubicar a Ecuador en relación a la Frontera Eficiente para los países de América del Sur. Así mismo, la Tabla 3.12 muestra el punto más cercano o de proyección para Ecuador que pertenece a la Frontera Eficiente (Ver Figura 3.4).

*Tabla 3.12 Punto de la Frontera Eficiente más cercano de Ecuador*

País	Datos observados			Punto referencia frontera			Diferencia en %		
	Max GM	Max IDH	Min IGP	GM	IDH	IGP	GM	IDH	IGP
Ecuador	2.876	0.742	2.138	2.911	0.846	2.146	0.012	0.140	0.004

*Fuente: Elaboración propia*

La identificación del punto de referencia o de proyección en la frontera para el Ecuador (Tabla 3.12 GM = 2.911; IDH = 0.846 e IGP = 2.146) ) permite ubicar los valores correspondientes, para ese punto, en el conjunto de variables explicativas ( $x_1, \dots, x_{11}$ ) que se muestran en la Tabla 3.13.

*Tabla 3.13 Valores de las variables explicativas correspondientes al punto de eficiencia más cercano para Ecuador*

País	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$
Ecuador	6.228	25.640	0.876	83.560	86.710	75.114	5.144	5.597	4.324	5.750	10.026



*Fuente: Elaboración propia*

Se realizó una búsqueda, en las diferentes bases de datos, con la finalidad de obtener los valores más actualizados de Ecuador para los objetivos y variables explicativas, los mismos que son registrados como “Valor más actual” en la Tabla 3.14. Esta información permite conocer cuál es la situación actual de Ecuador en esas áreas y a la vez hace factible compararla con los valores del punto de referencia o de proyección en la frontera.

Esta comparación tiene por objeto identificar las brechas entre la situación actual de Ecuador y su proyección en la eficiencia, evidenciando las acciones a tomar en los diferentes sectores del Estado para superar las mismas.

*Tabla 3.14 Valores de los objetivos y variables explicativas de Ecuador asociados al punto más cercano a la Frontera Eficiente*

Objetivo /Variable Explicativa.	Valor más actual	Valor frontera	Efecto del cambio
Gasto Militar (GM)	2.410	2.911	↑
Índice Desarrollo Humano (IDH)	0.759	0.846	↑
Índice Global Paz (IGP)	2.090	2.146	↓
Gasto en Salud como % PIB	4.100	6.228	↑
Impuestos Recaudados como % PIB	21.500	25.640	↓
Gasto en I+D como % PIB	0.005	0.876	↑
Usuarios de Internet	53.200	83.560	↑
Índice de Globalización Política (0-100)	77.000	86.710	↑
Índice de Globalización Social (0-100)	61.000	75.114	↑
Calidad de las carreteras, 1(Bajo) – 7(Alto)	5.050	5.144	↑
Calidad infraestructura transporte aéreo, 1 (baja) - 7 (alta)	5.150	5.597	↑
Tamaño de la población, en millones (Log)	2.860	4.324	↑
Número de personas privadas libertad	5.434	5.750	↓
LPIB pc	8.616	10.026	↑

 Mejora  Desmejora

*Fuente: Elaboración propia*

Una revisión de la información permitió realizar las siguientes inferencias si es que Ecuador alcanzara el punto más cercano a la eficiencia. Su GM tendría un incremento, ya que pasaría del valor actual de 2.410 % del PIB al 2.911%; sería un país con una población con más desarrollo humano, pues su nivel pasaría de 0.759 a 0.846. El efecto de compensación del modelo se evidencia en los resultados del IGP, llegar a esta eficiencia le significaría una disminución en sus condiciones de paz, debido a que el valor pasaría de 2.090 a 2.146 en este indicador un mayor valor significa menos paz. Se requeriría implementar políticas públicas para que los sectores de salud, I+D y usuarios de internet, reciban más recursos, debiendo pasar de 4.1% del PIB a 6.228%, de 0.005% PIB a 0.876% y de 53.2% a 83.560 % de la población, respectivamente. En contraparte, la población tendrá

que pagar más impuestos, de 21.5% a 25.640% del PIB, la seguridad sufriría, ya que el número de personas privadas de libertad se incrementaría.

Los contenidos anteriores evidencian como el modelo multiobjetivo desarrollado se convierte en una herramienta que guía al tomador de decisiones a determinar las políticas públicas requeridas para alcanzar los objetivos que se plantee, de manera que se proyecte sobre la Frontera Eficiente.

### 3.4 Comparativa América del Sur versus OTAN.

Para poder comparar los dos grupos de países utilizaremos el caso de la OTAN en el cual se maximizó el GM (Tabla 2.20 (b)) puesto que con esa condición se aplicó el modelo para América del Sur. La Figura 3.5 recoge los datos de los objetivos de la OTAN y de América de Sur a ser comparados.

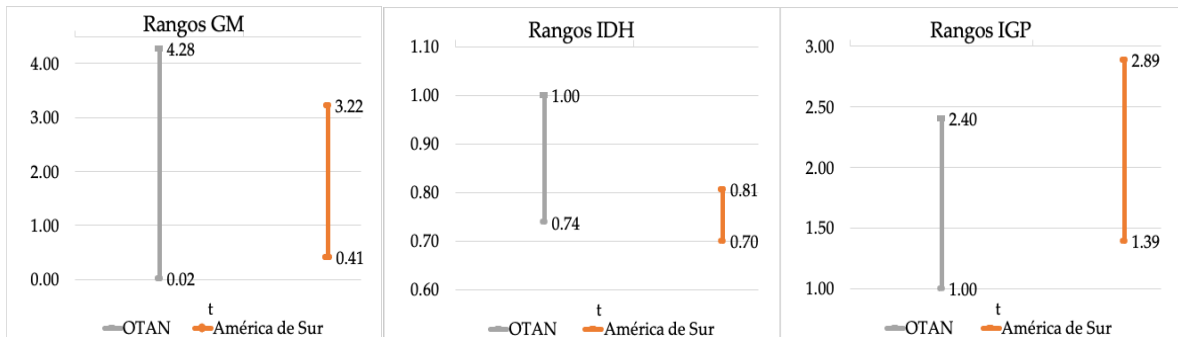


Figura 3.5 Rangos de los objetivos de la OTAN y América del Sur

Fuente: Elaboración propia

Los resultados evidencian diferencias en los dos grupos de estudio, por ejemplo, para el gasto militar como porcentaje del PIB, el rango resultante para la OTAN es [0.02 - 4.28] mientras que en América del Sur es [0.41 - 3.22]. En primer lugar, se infiere que el rango de

este gasto en la OTAN tiene mayor amplitud que en América del Sur; así mismo, en la OTAN las soluciones proponen un GM superior en América del Sur, 4.279% comparado con 3.22%. Esta situación podría explicarse en función de los niveles de gasto observado en el periodo de estudio, en que la OTAN es una agrupación de países con fines de defensa, que los países de la OTAN tienen un nivel económico superior a los de América del Sur y que los países miembros de la OTAN se ven obligados a realizar estos gastos, porque están inmersos en conflictos internos o externos. En contraposición, en la OTAN existen países con menor gasto militar que en América del Sur: 0.022 versus 0.41 % del PIB, esta situación podría sustentarse en que la región comparte fronteras y por tanto enfrentan juntos las amenazas transnacionales que demandan ciertos niveles de gasto para la defensa y seguridad.

En relación al desarrollo humano (IDH) la OTAN presenta un rango de [0.74 - 1.00] mientras que en América del Sur este indicador se mueve entre [0.70 - 0.81]. Se puede observar que la amplitud de los dos rangos son los mismos, sin embargo, los niveles de desarrollo son mejores en el grupo de países de la OTAN que alcanzan 1.000 mientras que en América del Sur llega apenas a 0.810. Por el otro extremo, en América del Sur se observa países menos desarrollados que en la OTAN; el menor nivel alcanzado es de 0.700 comparado con el 0.738 de la OTAN. Estos resultados deben ser contextualizados en que los países de América del Sur están en vías de desarrollo y los de la OTAN en su mayoría son desarrollados.

Con respecto al nivel de paz, la OTAN presentan un rango de [1.00 - 2.401] mientras que en América del Sur es de [1.39 - 2.89]. La amplitud de los rangos de los grupos de países es similar pero los niveles de paz diferentes. En la OTAN tienen mejores niveles, algún

miembro llega a 1.000 y el nivel conflictivo más alto es de 2.401 en comparación con el 2.89 de América del Sur.

Las Tablas 2.20 (b) y 3.9 contienen los datos de las variables explicativas correspondientes al conjunto de soluciones de objetivos, para la OTAN y América del Sur respectivamente. Existen cuatro variables comunes en los dos modelos: Gasto Público en Salud como % del PIB, PIB pc, Usuarios de Internet y Personas Privadas de Libertad por cada 100 mil habitantes. Estos datos se recogen en la Figura 3.5.

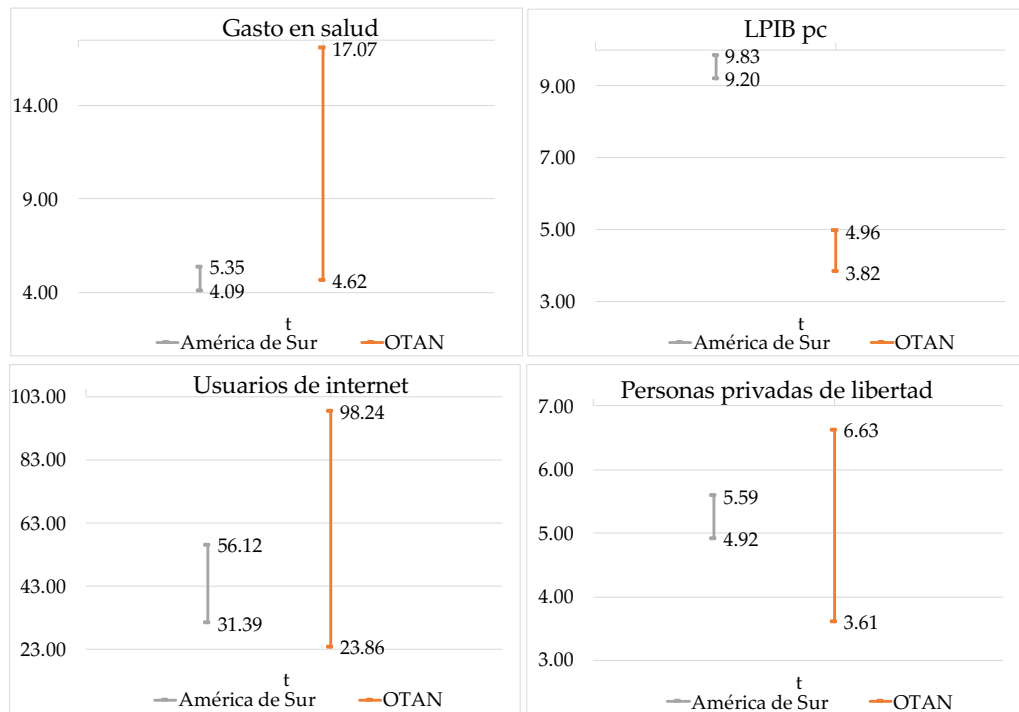


Figura 3.6 Rangos de algunas variables de decisión de la OTAN y América del Sur  
Fuente: Elaboración propia

La tendencia es similar a la observada previamente en los objetivos; el modelo generó soluciones más favorables para la OTAN que para América del Sur. Por ejemplo, el Gasto en Salud Pública en la OTAN es superior que América del Sur 17.07 % del PIB versus 5.35; los usuarios de internet en la OTAN llegan al 98.24% de la población y en América del Sur

al 56.12%. Se observa una excepción por el lado de la seguridad, las personas privadas de libertad son superiores en la OTAN que América del Sur 6.63 versus 5.59.

Se puede colegir que, en cuanto a los objetivos, el grupo de países de la OTAN presentan mayor gasto militar, mejores niveles de paz y de desarrollo humano que los países de América del Sur; similar situación se observa en las variables explicativas, la OTAN obtiene del modelo condiciones más favorables. Es pertinente considerar que el primer grupo de países persiguen fines militares y que el segundo es una región geográfica, además en la OTAN la mayoría de los miembros son países desarrollados y en América del Sur están en vías de desarrollo.

### **3.5 Conclusiones del capítulo 3.**

Los resultados muestran, para el caso de los diez países de América del Sur, que optimizando el gasto militar se promueve también una optimización en el nivel de desarrollo humano y condiciones de paz de un país, en aquellas condiciones menos favorables observadas en el comportamiento de los países estudiados (los límites inferiores).

En general, el modelo promueve menores magnitudes en los límites superiores de los objetivos y variables explicativas para mejorar los límites inferiores de las mismas. La carga fiscal aumentaría y en contraparte mejoraría el uso de la tecnología como internet y I+D, globalización social, política y calidad de infraestructura de transporte, lo cual como fin último, mejora las condiciones de vida que ofrece un Estado a su población.

Al determinar la ubicación de los países respecto de los puntos más cercanos en la Frontera Eficiente se verificó que están dominados por la frontera, comprobándose la

fortaleza del modelo. Todos los países tienen oportunidad de mejorar las condiciones o niveles tanto en los objetivos como en el conjunto de variables explicativas.

Los países más cercanos a la Frontera Eficiente son Chile, Uruguay y Ecuador; mientras que los que mayor mejora lograrían de alcanzar la frontera son Brasil, Paraguay y Bolivia. Al analizar las soluciones eficientes más cercanas a los países se observa que las condiciones de la región mejoran en educación al recibir mayores recursos tecnológicos, ya que más población tiene acceso al internet, de igual manera en lo económico por el crecimiento del PIB pc para la región. Los índices de globalización política y social tienen una gran mejora al igual que la conectividad. Las personas privadas de libertad aumentan en su límite inferior, pero se mantiene el superior a pesar del crecimiento de la población.



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

## CONCLUSIONES

---



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

La programación multiobjetivo constituye una herramienta poderosa para resolver problemas con varias funciones en conflicto que deben ser analizadas simultáneamente, permitiendo determinar comportamientos factibles y eficientes. El modelo desarrollado evidenció una gran eficiencia resolutoria ya que determinó el conjunto de soluciones factibles y eficientes en varios casos: variando el número de países, 27 países de la OTAN y 10 de América del Sur; cambiando la cantidad de variables explicativas 7, 10 y 11; con un gran volumen de datos y con un reducido volumen de datos. Las funciones objetivo del modelo siempre permanecieron fijas (GM, IDH e IGP).

Para el caso específico de este trabajo, el análisis multiobjetivo permitió abordar temas relaciones con la seguridad, la paz y el desarrollo de la población desde una mirada multidimensional. Su resolución aportó significativamente a evidenciar los complejos entrelazados en los que se desarrollan las políticas públicas que buscan mejorar las condiciones de vida de la sociedad; los efectos compensatorios lógicos se hicieron evidentes de una manera tangible. Los resultados cuantitativos obtenidos son una guía clara de los caminos a seguir y que deben ser complementados con aspectos cualitativos por parte de los tomadores de decisiones según los fines que persigan.

La investigación permitió establecer un modelo multiobjetivo que es capaz de generar soluciones factibles y eficientes con amplia variabilidad de las variables explicativas que abre oportunidad de buscar la eficiencia de cada país de acuerdo a sus propias realidades. Sin embargo, el aporte más relevante es que esos resultados constituyen una herramienta para la formulación de políticas públicas ajustadas a la realidad de cada país, ya que el tomador de decisiones puede fijar un punto en la Frontera Eficiente que le proporcionará referencias para las asignaciones presupuestarias, niveles de indicadores e índices que deben ser alcanzados para lograr la eficiencia en los objetivos Gasto Militar, Índice de Desarrollo Humano e Índice Global de Paz, que representan los sectores de seguridad, paz, desarrollo y bienestar de un país.

De una manera global, el trabajo evidenció que es posible optimizar las condiciones de desarrollo humano, niveles de paz y de gasto militar de un país. Los resultados evidencian, para los dos grupos de países de la OTAN y América del Sur, que la optimización disminuye el límite superior del gasto militar acompañado de una disminución de los límites para el nivel de paz. Se debe tener en cuenta que un menor valor de IGP implica mejores condiciones de paz en el país. Por otro lado, para el desarrollo humano existe una diferencia en el comportamiento entre los dos grupos; en la OTAN los niveles superior e inferior aumentan y en América del Sur el nivel superior disminuye y el inferior aumenta. Es decir, en la OTAN todos los países tienen la oportunidad de mejorar, mientras que en América del Sur se impulsa el desarrollo de los menos favorecidos.

Si bien es evidente que el modelo se basa en un concepto de compensación entre los objetivos; esta evidencia matemática se materializa en una situación en la que el tomador de decisiones debe seleccionar una posible solución con un nivel de GM, IDH o IGP que le

permita alcanzar o mantener los niveles deseados en los otros dos objetivos; ya que para que un objetivo mejore otro deberá desmejorar.

La optimización de las funciones objetivo genera un conjunto de soluciones que tiene asociadas valores en cada variable explicativa, el modelo promueve un rango de soluciones amplio para estas variables que tienden a mejorar las condiciones o indicaciones menos favorables observadas en los países en el periodo de estudio. Para el grupo de países de la OTAN se observó que, entre las soluciones eficientes y los valores de la muestra, las variables relacionadas con la mortalidad y el PIB tienen los mismos rangos de variación. Los otros rangos de variación son más estrechos para las soluciones eficientes que los observados, el límite inferior para los gastos en educación, impuestos y gasto de I + D son más altos, esto implica un aumento presupuestario para esas áreas en los países que se mueven en torno al límite inferior. El nivel de endeudamiento es menor, lo cual favorece al desarrollo económico de un país.

Para América del Sur, en general, el modelo promueve alivios en los límites superiores de las variables explicativas para mejorar los límites inferiores de las mismas; es decir los países de esta región, para lograr la eficiencia deberán asignar más recursos a ciertas áreas o mejorar sus indicadores económicos y sociales. También se observa que la carga fiscal aumenta y en contraparte mejora el uso de la tecnología como internet e I+D; los índices de globalización social, política y la calidad de infraestructura de transporte mejoran. Todos estos cambios tienen como fin último mejorar las condiciones de vida que ofrece un Estado a su población.

Esta investigación servirá de línea base para futuros trabajos que aborden las decisiones presupuestarias en áreas específicas dentro de la defensa o en otros ámbitos del

sector público, buscando la solución efectiva con un enfoque colectivo, ya que, como se ha evidenciado las asignaciones de recursos individualmente óptimas a las unidades organizativas rara vez son colectivamente apropiadas.

Dentro de las técnicas de resolución podrían establecerse niveles de aspiración para los diferentes objetivos, lo cual permitiría definir una Frontera de Pareto eficiente y reducida, acorde a dichos niveles.

# BIBLIOGRAFÍA

---



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

- Abell, J. D. (1992). Defense Spending and Unemployment Rates: An Empirical Analysis Disaggregated by Race and Gender. *American Journal of Economics and Sociology, Inc.*, 51(1), 27-42.
- Abell, J. D. (1994). Military Spending and Income Inequality. *Journal of Peace Research*, 31(1), 35-43.
- Ali, H. E. (2007). Military Expenditures and Inequality: Empirical Evidence from Global Data. *Defence and Peace Economics*, 18(6), 519-535.
- Ali, H. E. (2011). Military Expenditures and Human Development: Guns and Butter Arguments Revisited: A Case Study from Egypt. *Peace Economics, Peace Science and Public Policy*, 17(1), Article 17.
- Ali, H. E. (2012). Military Expenditures and Inequality in the Middle East and North Africa: A Panel Analysis. *Defence and Peace Economics*, 23(6), 575-589.
- Apostolakis, B. E. (1992). Warfare-Welfare Expenditure Substitutions in Latin America, 1953-87. *Journal of Peace Research*, 29(1), 85-98.
- Arratia, N., López-Irarragorri, F., Schaeffer, F., & Diaz-Balteiro, L. (2016). Static R&D project portfolio selection in public organizations. *Decision Support Systems*, 84, 53–63.
- Azam, M., Khan, F., Zaman, K., & Amran, R. (2016). Military Expenditures and Unemployment Nexus for Selected South Asian Countries. *Social Indicators Research: An International and Interdisciplinary Journal for Quality-of-Life Measureme*, 127(3), 1103-1117.
- Baltagi, B. (2005). *Econometric Analysis of Panel Data* (Vol. 3). New York, NY, NY: John Wiley & Sons Inc.
- Battaglino, J. (2015). Democracia, reconfiguración de amenazas y la paz sudamericana.; Íconos. *Revista de Ciencias Sociales*, 51, 171-186
- Bauwens, W. (1996). *Small states and the security challenge in the new Europe*. London: Brassey's.
- Benoit, E. (1973) *Defense Spending and Economic Growth in Developing Countries*, Lexington: Lexington Books.
- Biswas, B., & Ram, R. (1986). Military expenditures and economic growth in less developed countries: An augmented model and further evidence. *Economic Development and Cultural Change*(34), 361-372.
- Bove, V., & Brauner, J. (2016). The demand for military expenditure in authoritarian regimes. *Defence and Peace Economics*, 27(5), 609-625.

- Buzan, B. (1981). Change and insecurity: A critique of strategic studies. B. Buzan & R.J. Barry Jones (Eds.), *Change and the study of international relations: The evaded dimension* (pp. 155-172). Londres: Frances Pinter.
- Buzan, B. (1991). New Patterns of Global Security in the Twenty-First Century. *International Affairs (Royal Institute of International Affairs 1944-)*, 67(3), 431–451.
- Caballero, R., Romero, C., & Ruiz, F. (2016). Multiple criteria decision making and economics: an introduction. *The Annals of Operations Research*, 245, 1-5.
- Chang, H.-C., Huang, B.-N., & Yang, C. W. (2011). Military expenditure and economic growth across different groups: A dynamic panel Granger-causality approach. *Economic Modelling*, 28(6), 2416-2423.
- Coshall, J. (2003). The threat of terrorism as an intervention on international flows . *Journal of Travel Research*, 42(1), 4-12.
- D’Agostino, G., Dunne, P., & Pieroni, L. (2017). Does military spending matter for long-run growth? *Defence and Peace Economic*, 28, 429–436.
- D’Agostino, G., Dunne, J., & Pieroni, L. (2018). Military expenditure, endogeneity and economic growth. *Defence and Peace Economic* , 30, 509–524.
- Deger, S., & Sen, S. (1995). Military expenditure and developing countries. , pp. *Handbook of Defense Economics, Volume 1*, 275–307.
- DiGiuseppe, M. (2015). Guns, Butter, and Debt: Sovereign Creditworthiness and Military Expenditure . *Journal of Peace Research*, 52(5), 680–693.
- Doornik, J. (2002). *Object-Oriented Matrix Programming Using Ox* (Vol. 3rd ed.). London, UK: Timberlake Consultants Press.
- Dunne, J., Nikolaidou , E., & Mylo, N. (2003). The demand for military spending in the peripheral economies of Europe. *Defence and Peace Economics*, 14(6), 447-460.
- Dunne, P. J., Perlo-Freeman, S., & Soydan, A. (2010). Military expenditure and debt in south america. *Defence and Peace Economics*, 15(2), 173-187.
- Eichenberg, R. C., & Stoll, R. J. (2015). The Acceptability of War and Support for Defense Spending: Evidence from Fourteen Democracies, 2004–2013. *Journal of Conflict Resolution*, 1-26.
- Elveren, A. (2012). Military Spending and Income Inequality: Evidence on Cointegration and Causality for Turkey. *Defence and Peace Economics*, 23(3), 289-301.
- Engau, A., & Wiecek, M. (2007). Generating e-efficient solutions in multiobjective programming. *European Journal of Operational Research*(177), 1566–1579.
- Fan, H., Liu, W., & Coyte, P. V. (2017). Do Military Expenditures Crowd-out Health Expenditures? Evidence from around the World, 2000–2013. *Defence and Peace Economics*, 29(2), 1-14.
- Feder, G. (1983). On exports and economic growth. *Journal of Development Economics*, 12(1-2), 59-73.
- Ghazalian, P. L., & Hammoud, M. (2020). The Peace Level of Nations: An Empirical Investigation into the Determining Factors. *Defence and Peace Economics*, 32(5), 509-532.
- Gohou, G., & Soumaré, I. (2012). Does Foreign Direct Investment Reduce Poverty in Africa and are There Regional Differences? *World Development*, 40(1), 75-95.
- González-Fernández, A. I., Rubio-Misas, M., & Ruiz, F. (2020). Goal programming to evaluate the profile of the most profitable insurers: an application to the Spanish

- insurance industry. *International Transactions in Operational Research*, 27(6), 2976-300.
- Grajales-Quintero, A., Serrano-Moya, E. D., & Hahn Von-H, C. M. (2013). Los métodos y procesos multicriterio para la evaluación. *Revista Luna Azul*, 36, 285-306.
- Greene, W. (2008). *Econometric Analysis* (Vol. 7). River, NJ, USA: Prentice-Hall: Upper Saddle.
- Habeeb, Y. (1991). Adapting Multi-criteria Planning to the Nigerian Economy. *Journal of the Operational Research Society*, 42(10), 885-888.
- Habu, H. B., & Okolo, A. (2013). Multicriteria Decision Approach to Budgetary Analysis in Taraba State, North East Nigeria. *International Journal of Computer Applications*, 74(21), 55-59.
- Harper Collins. (17 de 08 de 2021). *Collins*. Obtenido de Collins Dictionary: <https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/security>
- Hartley, K. (2010). The Case For Defence. *Defence and Peace Economics*, 21 (5-6), 409-426.
- Hitch, C.; McKean, N. The Economics of Defense in the Nuclear Age; The Rand Corporation: Santa Mónica, CA, USA, 1960.
- Hu, J., Homem-de-Mello, T., & Mehrotra, S. (2011). Risk-adjusted budget allocation models with application in homeland securit. *IIE Transactions*, 43(12), 819-839.
- Intriligator, M. (1971). *Mathematical Optimization and Economic Theory*. Englewood Cliffs, New Jersey, Estados Unidos: Prentice-Hall.
- Jordan, A., Taylor, W., & Korb, L. (1994). *American National Security, Policy and Process*. Baltimore: The John Hopkins University Press.
- Kabát, L., Filip, S., & Filipová, L. (2017). Safety measurement peculiarities in selected countries. *Journal of Security and Sustainability Issues*, 6(3), 343–356.
- Kollias, C., & Paleologou, S. M. (2011). Budgetary Trade-offs Between Defence, Education and Social Spending in Greece. *Applied Economics Letters*, 18(11), 1071-1075.
- Kollias, C., Mylonidis, N., & Paleologou, S. (2007). A panel data analysis of the nexus between defence spending and growth in the european union. *Defence and Peace Economics*, 18, 75–81.
- Kollias, C., Paleologou, S. M., Tzeremes, P., & Tzeremes, N. (2017). Defence expenditure and economic growth in Latin American countries: evidence from linear and nonlinear causality tests. *Latin America Economy Review*, 26(2).
- Kozak, M., Crotts, J., & Law, R. (2007). The impact of perception of risk on international travellers. *International Journal of Tourism Research*, 9(4), 233-42.
- Liern, V., & Pérez-Gladish, B. (2020). Multiple criteria ranking method based on functional proximity index: Unweighted TOPSIS. *Annals of Operations Research*, doi:10.1007/s10479-020-03718-1.
- Lin, E., Ali, H. E., & Lu, Y. L. (2015). Does Military Spending Crowd Out Social Welfare Expenditures? Evidence from a Panel of OECD Countries. *Defence and Peace Economics*, 26(1), 33-48.
- Lorusso, M., & Pieroni, L. (2017). The effects of military and non-military government expenditures on private consumption. *Journal of Peace Research*, 54(3), 442-456.
- Malizard, J. (2014). Defense Spending and Unemployment in France. *Defence and Peace Economics*, 25(6), 635-642.

- Mansoob Murshed, S., & Mamoon, D. (2010). Not loving thy neighbour as thyself: Trade, democracy and military expenditure explanations underlying India--Pakistan rivalry. *Journal of Peace Research*, 47(4), 463–476.
- MATLAB. (2018). *The MathWorks InC*. Natick, MA., USA.
- Morais, A. G., & De Miranda Mota, C. M. (2013). A Multicriteria Prioritization Model to Support Public Safety Planning. *Brazilian Operations Research Society, Pesquisa Operacional*, 33(2), 251-267.
- Okagbue, H. I., Oguntunde, P. E., Bishop, S. A., Adamu, P. I., & Iroham, C. O. (2019). Significant Predictors of Henley Passport Index. *Journal of International Migration and Integration*, 22, 21–32.
- Ortega, B., Casquero, A., & Sanjuán, J. (2014). Growth in human development: the role of corruption. *Journal of International Development*, 26(7), 974–998.
- Pérez, F., & Gómez, T. (2016). Multiobjective project portfolio selection with fuzzy constraints. *Annals of Operations Research*, 245, 7–29.
- Perlo-Freeman, S. (2011). Budgetary Priorities In Latin America: Military, health and education Spending. *SIPRI Insights on Peace and Security*, 2011(2), 1-20.
- Phillips, L. D., & Bana e Costa, C. A. (2005). Transparent prioritisation, budgeting and resource allocation with multi-criteria decision analysis and decision conferencing. (W. P. 05.75, Ed.) *The London School of Economics and Political Science*, Working Paper LSEOR 05.75.
- Ram, R. (1995). *Defense expenditure and economic growth*. In *Handbook of Defense Economics* (Vol. 1). Amsterdam, The Netherlands: ; Elsevier.
- Sarabia M, Crecente F., Val, M., & Giménez, M. (2020). The Human Development Index (HDI) and the Corruption Perception Index (CPI) 2013-2017: analysis of social conflict and populism in Europe. *Economic Research-Ekonomiska Istraživa*, 33(1), 2943-2955.
- Seabra, C., Kastenholz, E., Abrantes, J. L., & Reis, M. (2018). Peacefulness at home: impacts on international travel. *International Journal of Tourism Cities*, 4.
- Smith, R. (1980). The demand for military expenditure. *Economic Journal*, 90(4), 811–820.
- Smith, R. (1995). The demand for military expenditure. In *Handbook of Defense Economics*; 1, 71–87.
- Solarin, S. A. (2018). Determinants of military expenditure and the role of globalisation in a cross-country analysis. *Defence and Peace Economics*, 29(7), 853-870.
- Steuer, R. (1986). *Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation and Application*. New York, NY, USA: Wiley.
- Taydas, Z., & Peksen, D. (2012). Can states buy peace? Social welfare spending and civil conflicts. *Journal of Peace Research*, 49(2), 273–287.
- Töngür, U., & Elveren, A. Y. (2015). Military Expenditures, Income Inequality, Welfare and Political Regimes: A Dynamic Panel Data Analysis. *Defence and Peace Economics*, 26(1), 49-74.
- Topcu, M., & Aras, I. (2013). Economic impacts of military expenditures: A comparative analysis on superpowers of the world. *Actual Problems of Economics*, 142, 495-506.
- Ugarte, J. M. (2012). *Los conceptos de defensa y seguridad en América Latina: sus peculiaridades respecto de los vigentes en otras regiones, y las consecuencias políticas de tales peculiaridades*. . Recuperado de <http://lasa.international.pitt.edu/Lasa200>.

- Vadlamannati, K. (2008). Exploring The Relationship Between Military Spending & Income Inequality In South Asia. *William Davidson Institute*, Working Paper Number 9.
- Wang, J. J., Jing, Y. Y., Zhang, C. F., & Zhao, J. H. (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 2263-2278.
- Wing, M. (1991). Defence spending and employment in Indonesia. *Defence Economics*, 3(1), 83-92.
- Wolde-Rufael, Y. (2014). Defence Spending and Income Inequality in Taiwan. *Defence and Peace Economics*, 27(6), 871-884.
- Yildirim, J., & Sezgin, S. (2003). Military expenditure and employment in Turkey. *Defence and Peace Economics*, 14(2), 129-139.
- Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2011). *Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: an overview. Technological and Economic Development of Economy* (Vol. 17).
- Zhang, Y., Liu, X., & Wang, R. (2016). Does military spending promote social welfare? A comparative analysis of the BRICS and G7 countries. *Defence and Peace Economics*.



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Metodologías y métodos en el estudio del GM	15
Tabla 2.1 Países de la OTAN y datos disponibles para el estudio	36
Tabla 2.2 Fuentes de las variables para la investigación	39
Tabla 2.3 Funciones objetivo y variables explicativas para el grupo de 27 países miembros de la OTAN	40
Tabla 2.4 Estadísticos descriptivos de las variables	42
Tabla 2.5 Determinantes del GM, IDH e IGP para los países de la OTAN (modelo de datos de panel con efectos fijos, periodo 2008-2016)	46
Tabla 2.6 Parámetros estimados para las restricciones del modelo de programación multiobjetiv	48
Tabla 2.7 Valores límites de las restricciones	49
Tabla 2.8 Cotas de las variables	50
Tabla 2.9 Rango de variación de los objetivos	54
Tabla 2.10 Límites de la $\varepsilon$ -Frontera de Pareto para las funciones objetivo aplicadas a los datos de la OTAN de 27 países	56
Tabla 2.11 Límites de las variables explicativas correspondientes a la $\varepsilon$ -Frontera de Pareto	58
Tabla 2.12 Variables explicativas adicionales incluidas en el estudio	65
Tabla 2.13 Nuevas fuentes de las variables para la investigación del grupo de países de las OTAN	66
Tabla 2.14 Variables y descripción estadística para el segundo escenario	67
Tabla 2.15 Determinantes del GM, IDH e IGP para los países de la OTAN (modelo de datos de panel con efectos fijos, periodo 2008-2016)	68
Tabla 2.16 Valores límites de las restricciones	70
Tabla 2.17 Cotas de las variables	71
Tabla 2.18 Rango de variación de los objetivos	72
Tabla 2.19 Límites de los valores de los objetivos para la frontera global y de los clústeres C1:C7, aplicadas a los datos de 27 países de la OTAN	78

Tabla 2.20 Límites de la Frontera de Pareto para los valores de las funciones objetivo y de las variables de decisión aplicadas a los datos de 27 países de la OTAN	80
Tabla 3.1 Países de América del Sur y datos disponibles para el estudio	90
Tabla 3.2 Variables y descripción estadística para el grupo de países de América del Sur	93
Tabla 3.3 Variables y descripción estadística para el grupo de países de América del Sur	95
Tabla 3.4 Determinantes del GM, IDH e IGP para los países de América del Sur (modelo de datos de panel con efectos fijos, periodo 2008-2016)	98
Tabla 3.5 Parámetros estimados para las restricciones del modelo multiobjetivo para los países de América del Sur (modelo de datos de panel con efectos fijos, periodo 2008-2016)	99
Tabla 3.6 Valores límites de las restricciones	100
Tabla 3.7 Cotas de las variables	100
Tabla 3.8 Límites de la Frontera de Pareto para los valores de las funciones objetivo aplicadas a los datos de 10 países de América de Sur	102
Tabla 3.9 Límites de las variables explicativas asociadas a la Frontera de Pareto	103
Tabla 3.10 Valores de coordenadas para la ubicación de los países respecto a la frontera, puntos de eficiencia más cercano a cada país y porcentaje de mejora de cada objetivo	107
Tabla 3.11 Valores de las variables explicativas correspondientes al punto de eficiencia más cercano a cada país	109
Tabla 3.12 Punto de la Frontera Eficiente más cercano de Ecuador	111
Tabla 3.13 Valores de las variables explicativas correspondientes al punto de eficiencia más cercano para Ecuador	111
Tabla 3.14 Valores de los objetivos y variables explicativas de Ecuador asociados al punto más cercano a la Frontera Eficiente	112

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Periodo muestral de la investigación	34
Figura 2.2 Frontera Eficiente generada para los objetivos de GM, IDH e IGP para los países de la OTAN incluidos en la investigación	53
Figura 2.3 $\varepsilon$ -Frontera de Pareto	55
Figura 2.4 Comparación de rangos del GM, IDH e IGP de la $\varepsilon$ -Frontera Eficiente y el real observado en los países durante el periodo de estudio 2008-2016	56
Figura 2.5 Situaciones de un subconjunto de países con respecto a la $\varepsilon$ -Frontera de Pareto	57
Figura 2.6 Comparación de los rangos de variación de la solución $\varepsilon$ -eficiente y los valores observados del conjunto de datos	58
Figura 2.7 Rangos de las funciones objetivo por grupos de la $\varepsilon$ -Frontera de Pareto, definidos por el GM	60
Figura 2.8 Rangos de las variables explicativas $\varepsilon$ -Frontera Eficiente por grupos definidos por GM	60
Figura 2.9 Situación de los países con respecto a su solución $\varepsilon$ -eficiente más cercana	62
Figura 2.10 Frontera de Pareto para los objetivos GM, IDH y IGP, para el grupo de 27, países de la OTAN con 3 funciones objetivo y 10 variables de decisión	72
Figura 2.11 Dendrograma en función de las medianas de los objetivos y variables explicativas	74
Figura 2.12 Frontera de Pareto Global y Clúster Fronteras de Pareto de los clúster C1-C7, para los objetivos GM, IDH e IGP	75
Figura 2.13 Frontera de Pareto global y clúster Frontera de Pareto del clúster C3 original (naranja), ampliando cotas de variables explicativas y términos independientes restricciones al mismo tiempo (rosa), solo cotas (morado) y solo términos independientes (verde)	77
Figura 3.1 Frontera Eficiente generada para los objetivos de GM, IDH e IGP para los 10 países de América del Sur	102

Figura 3.2 Comparación de rangos del GM, IDH e IGP de la Frontera de Pareto y el real observado en los países durante el periodo de estudio 2008-2016	104
Figura 3.3 Comparación de los rangos de variación de las variables explicativas observados y del modelo	105
Figura 3.4 Ubicación de los 10 países de América del Sur respecto a la Frontera Eficiente	107
Figura 3.5 Rangos de los objetivos de la OTAN y América del Sur	113
Figura 3.6 Rangos de algunas variables de decisión de la OTAN y América del Sur	115