

# Modelos de ordenación basados en la lógica difusa para incrementar el impacto social de las vacunas

M<sup>a</sup> Teresa León<sup>1</sup>, Vicente Liern<sup>1\*</sup>, Blanca Pérez-Gladish<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universitat de Valencia, Valencia, España  
leonm@uv.es, liern@uv.es

<sup>2</sup>Universidad de Oviedo, Asturias, España  
bperez@uniovi.es

**Resumen.** Las inversiones de impacto, que buscan generar impacto social y/o medioambiental junto con un rendimiento financiero, han crecido mucho en los últimos años. Un ejemplo claro ha sido la inversión de capital privado para lograr servicios básicos de salud en áreas deprimidas. Los inversores de impacto basan sus decisiones en múltiples criterios (financieros y sobre todo, no financieros) que por naturaleza son imprecisos, ambiguos y/o inciertos. En este trabajo, planteamos un marco de actuación que pueda contribuir a aumentar la inmunización mediante vacunas en una zona africana. En concreto, proponemos que la inversión dependa de una ordenación de los países, basada en optimización multicriterio difusa, que permita la priorización de proyectos de inversión.

**Palabras clave.** Lógica Difusa, Decisión Multicriterio, Inversión de Impacto, Inmunización, Vacunas.

## 1 El problema de la brecha de inmunización

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que la inmunización previene de 2 a 3 millones de muertes al año. Sin embargo, aproximadamente 1 de cada 5 niños en el mundo no tiene acceso a programas de vacunación para enfermedades como la difteria, la tosferina y el tétanos. Para hacer frente a este problema, en 2012, la Asamblea Mundial de la Salud dio su apoyo al Plan de Acción Mundial de Vacunas 2011-2020 (GVAP). Este plan incluye seis objetivos estratégicos que tienen que ver con la necesidad de priorizar la inmunización, de concienciar sobre su importancia como derecho y como responsabilidad, de extender la inmunización de manera equitativa, de desarrollar sistemas de inmunización robustos para el buen funcionamiento de los sistemas de salud, de lograr una financiación sostenible y previsible así como suministros de calidad y acceso a tecnologías innovadoras y, por último de entender que las innovaciones en investigación y desarrollo los beneficios de la inmunización. Según la Organización Mundial de la Salud, sólo uno de estos seis objetivos estratégicos está en la actualidad desarrollo: la introducción de vacunas nuevas o vacunas poco utilizadas en países subdesarrollados o en vías de desarrollo.

El objetivo de este trabajo es mostrar cómo existen diversos instrumentos de financiación como la inversión de impacto que pueden ser de gran utilidad para alcanzar uno de los objetivos anteriores objetivos estratégicos: el acceso sostenible a una financiación previsible, a un suministro de calidad y a tecnologías innovadoras.

El Global Impact Investing Network (GIIN) define las inversiones de impacto como "aquellas inversiones en las empresas, organizaciones y fondos que están destinadas a generar impactos sociales y/o medioambientales y que logran al mismo tiempo un rendimiento financiero". En los últimos años se ha producido una aceleración significativa en el crecimiento del mercado de inversión de impacto y los gobiernos de distintos países no han sido ajenos a la misma. Este mercado ofrece capital privado para hacer frente a muchos desafíos mundiales apremiantes como es el acceso a servicios básicos como la salud.

Un reciente y ejemplo de inversión de impacto es la inversión en fondos o bonos destinados a la inmunización, en concreto a la adquisición de vacunas. Pese al nivel de éxito en términos de impacto social demostrado, tanto fondos como bonos tienen aún escasa oferta y demanda. Una de las razones es que, al contrario de lo que ocurre con otros tipos de inversión de impacto, en el caso de la inmunización no existe, en general, una fuente directa de beneficios financieros. La rentabilidad para los inversores suele proceder de fondos del gobierno o de donantes privados.

En la actualidad destacan dos grandes iniciativas para la inversión en inmunización: los fondos de inversión en vacunas y los llamados bonos de impacto social. En ambos casos la financiación se sustenta en las aportaciones de donantes y gobiernos de países (desarrollados, en vías de desarrollo y subdesarrollados). Sin embargo, en el primer caso, el gobierno toma prestada del fondo de inversión la financiación que necesita devolviendo una rentabilidad fija a los partícipes.

En el caso de los bonos de impacto social el pago de la rentabilidad está basado en los resultados alcanzados y el donante filantrópico de fondos suscribe el riesgo de las inversiones. Desde el punto de vista del gobierno, este enfoque es beneficioso financieramente sólo cuando el pago de las rentabilidades a los inversores particulares es menor que el ahorro en costes generados por la inmunización. En cualquiera de los dos casos, el instrumento de inversión de impacto permite a los gobiernos tener fondos para la compra inicial y/o el desarrollo de vacunas.

El ejemplo de fondo de inversión de impacto en vacunas más conocido es el *Global Health Investment Fund* (GHIF). Este fondo lanzado en 2013 por JP Morgan & Co con el respaldo de la Fundación Bill & Melinda Gates fue el primer fondo de inversión en vacunas para inversores individuales e institucionales. El fondo busca oportunidades de inversión con alta probabilidad de comercialización exitosa en un periodo de dos o tres años. Además, el fondo persigue especialmente los llamados productos con potencial de mercado "dual" que son los que se espera tengan un claro impacto en la salud pública en los países en desarrollo, pero también un impacto alto en los países desarrollados. GHIF emplea gran variedad de instrumentos de inversión incluyendo la deuda *mezzanine* o deuda intermedia (híbrido entre deuda y acciones), deuda convertible, acciones preferentes y la financiación de proyectos con un objetivo de inversión promedio de aproximadamente 10 millones de dólares por proyecto. En

este último caso, cada proyecto debe avanzar en los objetivos de impacto social del fondo y demostrar capacidad de alcanzar el éxito comercial.

Los bonos de impacto social (también conocidos como contratos de pago-por-éxito) son un instrumento que permite innovar en el sector público. Estos bonos atraen fondos del sector privado destinados a financiar el coste de un programa con claro impacto social y el sector público se compromete a reembolsar esta inversión sólo si se comprueba el logro de ciertos resultados sociales finales. Si las metas no han sido alcanzadas, los inversionistas pierden su inversión.

En la actualidad hay más de 40 bonos de impacto social implementados o en vías de implementación la mayoría de los cuales están enfocados hacia áreas relacionadas con el bienestar social, el empleo y la justicia criminal. Sin embargo, las áreas de actuación de los bonos de impacto están creciendo. Los gobiernos usan los bonos de impacto para colaborar con proveedores de servicios sociales e inversionistas privados, que están dispuestos a cubrir *ex-ante* los costes y asumir los riesgos de los programas sociales.

El éxito del modelo de inversión en bonos sociales depende en un grado muy alto del seguimiento y evaluación permanente de los resultados de los programas y por ello la medición correcta y transparente de su impacto es esencial.

En este trabajo estamos especialmente interesados en los bonos de impacto social, en concreto en los bonos para vacunas.

## 2 Inversión de impacto: los bonos para vacunas

El Comité de Desarrollo del Banco Mundial con el respaldo del Fondo Monetario Internacional instan en 2005 la puesta en marcha de un proyecto piloto para que algunos Gobiernos emitieran títulos especiales para lograr fondos para desarrollar, producir y distribuir vacunas para niños en países subdesarrollados y en vías de desarrollo. La idea estuvo abanderada por el entonces ministro de Economía de Reino Unido, Gordon Brown.

El Servicio Financiero Internacional para la Inmunización (IFFIm.) es una institución de desarrollo multilateral creada en el Reino Unido en 2006 para acelerar la disponibilidad de fondos a largo plazo para programas de salud y de inmunización. El IFFIm emite bonos de bajo riesgo en los mercados internacionales de capital. El Banco Mundial es el gestor de la tesorería del IFFIm. Los fondos del IFFIm se proporcionan en forma de subvenciones (no préstamos) a través de GAVI Alliance (Alianza Global de Vacunas e Inmunización) en más de 70 de los países más pobres del mundo. El IFFIm comenzó con seis donantes fundadores: Francia, Italia, Noruega, España, Suecia y el Reino Unido. Posteriormente se unieron Sudáfrica, los Países Bajos y Australia. En la actualidad, los gobiernos de estos países han comprometido más de 6,3 billones de dólares americanos al programa.

El IFFIm consigue fondos emitiendo bonos en los mercados internacionales de capital bajo su programa de emisión de deuda global (Global Debt Issuance Programme). Posteriormente el IFFIm desembolsa los fondos a GAVI para apoyar distintos programas de provisión y desarrollo de vacunas, inmunización y programas de forta-

lecimiento de sistemas de salud (SHS). Mediante el lanzamiento de estos bonos el IFFIm convierte compromisos gubernamentales de largo plazo en efectivo haciendo que los recursos estén disponibles inmediatamente. El IFFIm utiliza los pagos de los donantes para, entre otras cosas, pagar a los inversores el principal y los intereses de sus bonos.

El primer bono de impacto en vacunas se lanzó en 2006 y posteriormente se han lanzado más bonos en Japón, Reino Unido, Australia y el mercado de eurobonos. Recientemente se ha lanzado un bono de impacto en vacunas en el mercado financiero islámico. A finales de 2015, se habían realizado compromisos de financiación por parte de los 9 países donantes que, para un horizonte de 23 años, ascendían a 6,5 billones de dólares americanos. El bono ha recaudado hasta la fecha más de 5,2 billones de dólares de los inversores. Los países candidatos a programas de GAVI son en la actualidad 78. Entre las vacunas adquiridas están la vacuna pentavalente que inmuniza contra cinco enfermedades infecciosas: la difteria, el tétanos, la tosferina, la gripe B y la hepatitis B, la vacuna contra el sarampión, el rotavirus o la fiebre amarilla (ver Tabla 1 y [www.gavi.org](http://www.gavi.org) para más detalles sobre la cobertura apoyada por GAVI).

Tabla 1. Vacunas apoyadas por GAVI

<i>Vacuna</i>	<i>Descripción</i>
BCG	Bacille Calmette Guérin
DTP1	Primera dosis de diphtheria toxoid, tetanus toxoid y tosferina
DTP3	Tercera dosis de diphtheria toxoid, tetanus toxoid y tosferina
HepB_BD	Hepatitis B dosis de nacimiento
HepB3	Tercera dosis de hepatitis B
Hib3	Tercera dosis de Haemophilus influenzae tipo B
MCV1	Primera dosis sarampión
MCV2	Segunda dosis sarampión
PAB	Protección al nacer
PCV3	Tercera dosis de pneumococcal conjugate
Pol3	Tercera dosis de polio
Rota_last	Rotavirus última dosis
YFV	Fiebre amarilla

GAVI considera 12 metas (goals) esenciales (objetivo más nivel de aspiración) cuyo nivel de consecución mide mediante 12 indicadores de nivel (goal-level indicators) para monitorizar el progreso en sus estrategias cada cinco años. Estos indicadores se agrupan en indicadores de misión, indicadores relativos a vacunación, indicadores sobre sistemas de salud, indicadores financieros e indicadores de conformación de mercado (ver Tabla 2). Para cada uno de los 12 objetivos representados por un indicador y para cada uno de los cinco años GAVI establece un nivel de aspiración (target) y monitoriza el nivel de logro de cada meta con respecto a cada nivel de aspiración (Tabla 2).

Con el fin de ilustrar el método propuesto, trabajaremos con 8 de los 73 países que en 2015 eran países “elegibles” por el programa GAVI. De los 8 países, 6 pertenecen a África del Este (Kenia, Mozambique, Ruanda, República Democrática de Tanzania, Uganda y Zambia) y 2 pertenecen al África central (Angola y la República Democrática del Congo).

Tabla 2. Indicadores y niveles de aspiración de GAVI

	CATEGORÍA E INDICADOR	Unidad	NIVEL
M	MISIÓN		
M.1	<b>Tasa de mortalidad infantil en menores de 5 años:</b> Número de muertes entre niños de menos de cinco años por cada 1000 niños nacidos vivos. <a href="http://esa.un.org/unpd/wpp/Download/Standard/Mortality/">http://esa.un.org/unpd/wpp/Download/Standard/Mortality/</a>	%	66
M.2	<b>Número de futuras muertes evitadas:</b> Número de futuras muertes evitadas como resultado de vacunación pentavalente, pneumococcal, rotavirus, fiebre amarilla, meningitis A, Japanese Encephalitis, human papillomavirus, segunda dosis sarampión, rubeola. Fuente: Lee, LA et al. (2013)	Miles	3900
M.3	<b>Número de niños inmunizados:</b> Número de niños inmunizados con la última dosis recomendada de una vacuna apoyada por GAVI y suministrada por sistemas rutinarios. <a href="http://apps.who.int/immunization_monitoring/globalsummary/timeseries/tswucoveragedtp3.html">http://apps.who.int/immunization_monitoring/globalsummary/timeseries/tswucoveragedtp3.html</a>	%	61
SG	<b>METAS ESTRATÉGICAS</b>		
SG.1	<b>Meta 1 (Vacunas):</b> Cobertura de vacunas nuevas y de escasa implantación: (a) Pentavalente, (b) Rotavirus (última dosis) y (c) Pneumococcal Vacuna (PCV) 3 <sup>a</sup> dosis. <a href="http://apps.who.int/immunization_monitoring/globalsummary/timeseries/tswucoveragedtp3.html">http://apps.who.int/immunization_monitoring/globalsummary/timeseries/tswucoveragedtp3.html</a>	%	77 (a) 31 (b) 40 (c)
SG.2.a	<b>Meta 2.a (Sistema sanitario: Tasa de abandono):</b> Diferencia entre la cobertura de DTP1 y DTP3. <a href="http://apps.who.int/immunization_monitoring/globalsummary/timeseries/tswucoveragedtp3.html">http://apps.who.int/immunization_monitoring/globalsummary/timeseries/tswucoveragedtp3.html</a>	%	6
SG.2b	<b>Meta 2.b (Sistema sanitario: Cobertura DTP3):</b> Medida directa de la capacidad de GAVI para contribuir al fortalecimiento de la capacidad de los sistemas de salud integrados para ofrecer la inmunización. La cobertura de DTP3 es un indicador que se utiliza con frecuencia para medir la fortaleza de los sistemas de inmunización y de salud, debido a DTP3 requiere tres contactos con el sistema de salud en los momentos apropiados y porque la vacuna DTP tiende a ser dada a través del sistema de rutinario en lugar de a través de campañas. <a href="http://apps.who.int/immunization_monitoring/globalsummary/timeseries/tswucoveragedtp3.html">http://apps.who.int/immunization_monitoring/globalsummary/timeseries/tswucoveragedtp3.html</a>	%	84
SG.2.c	<b>Meta 2.c (Sistema sanitario: MCV1 Sarampión Cobertura):</b> medida directa de la capacidad de GAVI para contribuir al fortalecimiento de la capacidad de los sistemas de salud para proporcionar inmunización contra el sarampión. El seguimiento de la cobertura del sarampión complementa y añade valor al seguimiento de la cobertura de DTP3, ya que mide la capacidad de los servicios de salud preventivos para llegar a los recién nacidos a partir del primer año de vida. <a href="http://apps.who.int/immunization_monitoring/globalsummary/timeseries/tswucoveragedtp3.html">http://apps.who.int/immunization_monitoring/globalsummary/timeseries/tswucoveragedtp3.html</a>	%	.
SG.2d	<b>Meta 2.d (Sistema sanitario: Equidad en inmunización):</b> Porcentaje de vacunados en DTP3 en el quintil de ingresos más bajo y en el más alto fijándose en que los del quintil más bajo no estén a más de 20 puntos porcentuales por debajo de la cobertura en el quintil más alto de la riqueza. La equidad es una medida importante de la capacidad de los sistemas de salud integrados para ofrecer inmunización. A pesar de que el acceso global a las vacunas se ha vuelto más equitativo, dentro de los países las desigualdades continúan existiendo sobre todo entre los pobres y los no pobres. Los pobres son también los más vulnerables y los más propensos a morir a causa de enfermedades prevenibles por vacunación. <i>Demographic and Health Surveys: <a href="http://www.measuredhs.com">www.measuredhs.com</a></i> <i>Multiple Indicator Cluster Surveys: <a href="http://www.childinfo.org/mics.html">http://www.childinfo.org/mics.html</a></i>	%	62
SG.3.a	<b>Meta 3.a (Financiera):</b> Recursos totales movilizados para cubrir la demanda. Recursos movilizados como un porcentaje de los recursos necesarios	%	100

	para financiar la demanda del país prevista para el apoyo de las vacunas, 2011-2015. La cantidad de recursos movilizados (medido a través de los registros de la Secretaría de GAVI) se compara con la cantidad de recursos necesarios para financiar la demanda de los países para el apoyo de las vacunas (medido a través de la última versión de la Demanda Estratégica de GAVI Previsión). <i>GAVI Strategic Demand Forecast</i>		
SG.3b	<b>Meta 3.b (Financiera): Inversión en vacunas por niño.</b> El gasto medio inmunización de los presupuestos nacionales de salud en los países del GAVI por niño superviviente <5 años. <a href="http://www.who.int/nha/en/">http://www.who.int/nha/en/</a>	\$	Crecer
SG.3.c	<b>Meta 3.c (Financiera): Cumplimiento de compromisos de financiación.</b> El cumplimiento de los compromisos de cofinanciación es una medida del compromiso de los países a las vacunas que financian, y por lo tanto un reflejo de la sostenibilidad de la financiación nacional para la inmunización. Los datos sobre el cumplimiento de los compromisos de cofinanciación son recogidos por UNICEF, PAHO, y la Secretaría de GAVI. Las tres agencias registran la recepción de pagos de los países en relación con el plazo de presentación de dichos pagos. <a href="http://www.gavialliance.org/vision/policies/new_vaccines/cofinancing/index.php">http://www.gavialliance.org/vision/policies/new_vaccines/cofinancing/index.php</a>	%	100
SG.4.a	<b>Meta 4.a (Conformación del mercado):</b> Cambios en el coste de inmunización total de un niño con Pentavalente, Rota y PCV. El seguimiento de la evolución de los precios de las vacunas a lo largo del tiempo es esencial para entender hasta qué punto Gavi está alcanzando su meta relativa a la conformación de los mercados de vacunas en países de renta baja. Precios meta (aspiración) han sido fijados pero no están siendo publicados para evitar el establecimiento de un precio mínimo. <a href="http://www.unicef.org/supply/index_57476.html">http://www.unicef.org/supply/index_57476.html</a>	\$	
SG.4b	<b>Meta 4.b (Conformación del mercado):</b> Seguridad en el abastecimiento (número de productos ofrecidos como % del objetivo a 5 años) <a href="http://www.gavialliance.org/results/goal-level-indicators/market-shaping-goal-indicators/">http://www.gavialliance.org/results/goal-level-indicators/market-shaping-goal-indicators/</a>	%	100

En la Tabla 3 aparecen los valores de los indicadores considerados por GAVI en los 8 países de estudio. Nuestro objetivo es realizar un ranking de los países considerados basado en los niveles de logro alcanzados por cada país con respecto a las metas fijadas por GAVI. Es decir, deseamos realizar una ordenación de los países basada en el impacto social de las inversiones realizadas en el país. GAVI, pese a facilitar numerosos informes de progreso para cada país no proporciona ningún ranking que de manera sencilla permita comparar el comportamiento de los países en relación al logro de las metas consideradas.

Una ordenación de los países que tenga en cuenta los múltiples indicadores y su naturaleza imprecisa y en muchos casos incierta creemos que puede aportar mucha claridad a un tema que por su complejidad es a veces muy oscuro.

En la siguiente sección, presentamos un enfoque TOPSIS con valores difusos que nos permite ordenar los países por su impacto social tomando como referencia los niveles de aspiración fijados por GAVI para cada una de sus metas. En esta primera aproximación no hemos querido considerar las metas financieras ni las relativas a la configuración del mercado y nos hemos centrado en las metas relativas a la misión de GAVI y a las metas estratégicas relacionadas con la vacunación y los sistemas sanitarios en los países de estudio.

### 3 Ranking de países basado en el impacto social alcanzado por los programas de vacunación GAVI

En esta sección vamos a proponer un ranking de los países considerados que tenga en cuenta distintas metas de misión y estratégicas de GAVI. La Tabla 3 recoge los valores de los indicadores utilizados por GAVI en los ocho países que hemos decidido considerar.

Tabla 3. Valores de los indicadores de misión y estratégicos sanitarios GAVI

	Meta	Angola C <sub>1</sub>	Congo C <sub>2</sub>	Kenia C <sub>3</sub>	Mozam C <sub>4</sub>	Ruan C <sub>5</sub>	Tanza C <sub>6</sub>	Ugand C <sub>7</sub>	Zamb C <sub>8</sub>
I <sub>1</sub>	M1 (%oo)	156	115	78	99	73	93	51	83
I <sub>2</sub>	M2 (miles)	334	763	919	284	218	358	578	269
I <sub>3</sub>	M3 (%)	60	53	57	52	69	52	64	55
I <sub>4</sub>	SG1 (%)	35	31	51	33	75	30	54	37
I <sub>5</sub>	SG2a (%)	10	7	7	15	1	10	6	8
I <sub>6</sub>	SG2b (%)	88	73	82	76	98	79	92	81
I <sub>7</sub>	SG2c (%)	91	75	84	83	96	79	96	85
I <sub>8</sub>	SG2d (%)	---	41	11	9	3	3	14	5

#### 3.1 Datos disponibles sobre el impacto de las vacunas

La realidad suele mostrar hechos que no se pueden determinar con precisión, es decir, no son rígidos ni deterministas, por lo que para manejarlos necesitamos datos mucho más detallados que los que una persona puede reconocer, procesar y comprender. La mayoría de nuestras herramientas tradicionales para el modelado formal, el razonamiento y el cálculo informático son rígidas, deterministas y de carácter preciso. Suele asumirse que las estructuras y los parámetros del modelo son conocidos y representan exactamente nuestra percepción del fenómeno tratado y las características del sistema real estudiado. Generalmente, la precisión también implica que el modelo no contiene ambigüedades y, de hecho, pocas veces se plantean explícitamente dudas sobre sus valoraciones o su ocurrencia. Sin embargo, cualquier gestor sabe que a menudo únicamente disponemos de información parcial sobre la realidad y normalmente no puede asociarse con ninguna variable concreta. Este es precisamente el caso que nos ocupa.

La medición del impacto social de la vacunación y en general, de los procesos de inmunización, está cargada de incertidumbre, ambigüedad e imprecisión y en muchos casos, como hemos visto en la sección anterior, existe información parcial o no hay datos disponibles. Por estas razones, creemos especialmente interesante y útil el papel de la Teoría de Conjuntos Borrosos, cuyo objetivo es proporcionar las bases del razonamiento aproximado utilizando premisas imprecisas como instrumento para formular el conocimiento.

Cada uno de los países elegibles por GAVI para su programa de vacunación,  $C_i$ ,  $i=1, \dots, n$  debería ser evaluado con respecto a un conjunto de indicadores del nivel de logro de las metas propuestas por GAVI, que denominaremos  $I_j$ ,  $j=1, \dots, m$ . Estos indicadores son en muchos países muy difíciles de medir por la imprecisión y/o falta de información proporcionada por el país lo que dificulta la evaluación precisa de un país en términos del nivel de logro de esas metas. Por lo tanto, con el fin de evaluar la el impacto social de las inversiones en vacunas en términos del nivel de logro de las metas sanitarias de GAVI, nos apoyaremos en los juicios subjetivos de un analista basados en su conocimiento experto. De modo similar al procedimiento seguido por Canós y Liern (2008) para un problema de selección de personal en una empresa, el analista evaluará el comportamiento de cada país respecto de cada indicador mediante un intervalo contenido en  $[0,1]$ .

En el contexto de la lógica borrosa, lo que hemos obtenido así es un conjunto borroso discreto para cada país  $i$  en el que cada intervalo representa en qué grado participa el país  $i$  del indicador de impacto  $j$ , o dicho de otro modo, hemos determinado una función de pertenencia que al país  $i$  le asigna un grado de pertenencia a través de un intervalo de tolerancia. Una vez obtenidos estos intervalos (para cada uno de los países respecto de cada uno de indicadores) de nivel de logro de las metas sanitarias, *nivel de impacto*, debemos agregarlos para evaluar el grado de impacto sanitario del programa de vacunación de GAVI en cada país. Con este fin calculamos los intervalos

$$\mu_j(C_i) = [b_{ij}^l, b_{ij}^u], \quad i=1, \dots, n, \quad j=1, \dots, m, \quad (1)$$

que representan el grado de pertenencia (dado a través de un intervalo de tolerancia) del país  $C_i$  a la característica “nivel de logro de la meta representada por el indicador  $I_j$ ”. En nuestro caso los intervalos son los que aparecen recogidos en las Tablas 4.a y 4.b tras un proceso de normalización entre 0-1 del indicador  $I_2$ . El resto de indicadores están expresados en tantos por uno.

Una vez obtenidos los intervalos para cada país respecto de cada indicador aplicamos el método TOPSIS desarrollado por Hwang y Yoon (1981) para ordenar los países según el grado de impacto de los programas de inmunización (García-Cascales y Lamata, 2009).

Como valores del ideal positivo hemos tomado los niveles de aspiración fijados por GAVI para cada uno de los indicadores. En el caso del indicador  $I_2$  el nivel de aspiración está expresado en términos mundiales. Hemos decidido considerar como nivel de aspiración teniendo en cuenta estadísticas publicadas por GAVI y los países que hemos considerado pertenecientes al África septentrional y al África central ([www.gavi.org](http://www.gavi.org)) un 25% del nivel de aspiración mundial. Como valores del ideal negativo se ha considerado como valor el 0.

El ranking de países obtenido aparece recogido en la Tabla 5. Hemos considerado pesos iguales para todos los indicadores.



Tabla 4.a Valores intervalares de los indicadores de misión y estratégicos GAVI

Indicador	C <sub>1</sub>		C <sub>2</sub>		C <sub>3</sub>		C <sub>4</sub>	
<i>I</i> <sub>1</sub>	0,12	0,19	0,21	0,24	0,36	0,42	0,27	0,33
<i>I</i> <sub>2</sub>	0,18	0,25	0,41	0,57	0,50	0,69	0,15	0,21
<i>I</i> <sub>3</sub>	0,48	0,66	0,42	0,58	0,46	0,64	0,42	0,57
<i>I</i> <sub>4</sub>	0,28	0,39	0,25	0,35	0,41	0,57	0,26	0,37
<i>I</i> <sub>5</sub>	0,08	0,11	0,06	0,08	0,06	0,08	0,12	0,17
<i>I</i> <sub>6</sub>	0,61	0,97	0,58	0,80	0,65	0,90	0,60	0,84
<i>I</i> <sub>7</sub>	0,70	0,90	0,60	0,82	0,67	0,92	0,65	0,91
<i>I</i> <sub>8</sub>	0,00	0,00	0,33	0,45	0,10	0,15	0,80	0,10

Tabla 4.b Valores intervalares de los indicadores de misión y estratégicos GAVI

Indicador	C <sub>5</sub>		C <sub>6</sub>		C <sub>7</sub>		C <sub>8</sub>	
<i>I</i> <sub>1</sub>	0,37	0,45	0,27	0,31	0,45	0,52	0,31	0,36
<i>I</i> <sub>2</sub>	0,12	0,16	0,19	0,27	0,31	0,43	0,14	0,16
<i>I</i> <sub>3</sub>	0,55	0,76	0,42	0,57	0,51	0,70	0,44	0,76
<i>I</i> <sub>4</sub>	0,60	0,84	0,24	0,33	0,43	0,60	0,29	0,84
<i>I</i> <sub>5</sub>	0,01	0,01	0,08	0,12	0,05	0,07	0,06	0,01
<i>I</i> <sub>6</sub>	0,78	0,90	0,93	0,87	0,73	0,90	0,64	0,83
<i>I</i> <sub>7</sub>	0,79	0,91	0,63	0,83	0,77	0,85	0,68	0,88
<i>I</i> <sub>8</sub>	0,03	0,05	0,02	0,04	0,50	0,53	0,50	0,71

Tabla 5. Ranking de países basado en el impacto de los programas de vacunación de GAVI

Indicador	Ranking								
<i>I</i> <sub>1</sub>	C7	C5	C3	C8	C6	C4	C2	C1	
<i>I</i> <sub>2</sub>	C3	C2	C7	C6	C1	C4	C8	C5	
<i>I</i> <sub>3</sub>	C5	C7	C1	C3	C8	C2	C4	C6	
<i>I</i> <sub>4</sub>	C5	C7	C3	C8	C1	C4	C2	C6	
<i>I</i> <sub>5</sub>	C5	C7	C2	C3	C8	C1	C6	C4	
<i>I</i> <sub>6</sub>	C5	C7	C1	C3	C8	C6	C4	C2	
<i>I</i> <sub>7</sub>	C5	C7	C1	C8	C3	C4	C6	C2	
<i>I</i> <sub>8</sub>	C2	C7	C3	C4	C8	C5	C6	C1	
Multicriterio	C7	C6	C3	C2	C4	C8	C5	C1	

En las ocho primeras filas aparecen los rankings obtenidos fijándonos en los valores de los indicadores de manera individual y trabajando con el dato preciso proporcionado por los organismos oficiales (ver fuentes en la tabla 2). En la última fila aparece el recogido el ranking obtenido con la metodología propuesta en este trabajo, TOPSIS con intervalos. Es interesante observar como Uganda (C<sub>7</sub>) muestra un nivel de logro muy bueno en global (utilizando TOPSIS) y respecto de cada indicador individual. Sin embargo, la ordenación obtenida con TOPSIS sitúa en mala posición a Ruanda cuando en el resto de los indicadores, excepto el indicador relativo al número de muertes futuras evitadas, el comportamiento del país es bastante bueno. Lo contrario sucede con Tanzania que ocupa una buena posición en el ranking global obtenido con TOPSIS y malas posiciones si se consideran los indicadores de manera individual sin tener en cuenta los niveles de aspiración.

NOTA: En un primer intento, se hizo una agregación del grado de pertenencia de todos los indicadores (ver expresión (1)) de la forma siguiente:

$$\mu(C_i) = [b_i^L, b_i^U] = \sum_{j=1}^m k_j [b_{ij}^L, b_{ij}^U], \quad i=1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

donde  $k_j$  ( $j=1, \dots, n$ ) representa peso que se da al criterio  $j$ -ésimo.

Con esto, para cada país  $C_i$ , se obtiene una valoración difusa del impacto social en términos de inmunización que nos permite expresar nuestro objetivo: Intentar invertir en países que maximicen el valor expresado en (2). Sin embargo, esta agregación se descartó porque no existía un criterio para fijar los pesos  $k_j$  y que suponerlos todos iguales proporcionaba soluciones muy alejadas a las que está llevando a cabo GAVI.

#### 4 Reflexiones finales

En los bonos de impacto social, la remuneración a los inversores privados, depende del logro de una serie de objetivos sociales previamente pactados. La medición del nivel de logro de dichos objetivos, junto con los propiamente financieros es fundamental y así lo reconoce, en el caso de la inversión en vacunas, GAVI. Sin embargo, y pese a los enormes esfuerzos realizados por publicar una gran cantidad de informes que contienen estadísticas de muy diversas fuentes, y de intentar garantizar la transparencia y credibilidad de la información, es prácticamente imposible tener una idea general del nivel de impacto de los proyectos financiados por GAVI mediante el bono en vacunas, por países. Creemos que podría resultar útil complementar la información con un ranking de países en los que, de manera sencilla, se pudiera conocer cuál ha sido el nivel de logro global de cada uno en función de los niveles de aspiración fijados por la Alianza Global de Vacunas e Inmunización.

La dificultad para disponer de los datos necesarios para evaluar hasta qué punto se han conseguido los objetivos y su naturaleza sumamente incierta e imprecisa, hacen imprescindible el uso de herramientas de la Lógica Difusa.

#### Referencias bibliográficas

1. Canós, L., Liern V. (2008). Soft computing-based aggregation methods for human resource management. *European Journal of Operational Research*, 189, 669-681.
2. García Cascales, M.S. (2009). Métodos para la comparación de alternativas mediante un Sistema de Ayuda a la Decisión (S.A.D.) y "Soft Computing". Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena. Hwang, C.L. and Yoon, K. (1981). *Multiple Attributes Decision Making Methods*, Ed. Springer, Berlin.
3. Lee, LA et al. (2013). The estimated mortality impact of vaccinations forecast to be administered during 2011-2020 in 73 countries supported by the GAVI Alliance. *Vaccine*, 31S: B61-B72.
4. United Nations (2015), Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World Population Prospects: The 2015 Revision, DVD Edition*.