

# **MÁSTER OFICIAL EN ECONOMÍA: INSTRUMENTOS DEL ANÁLISIS ECONÓMICO**

**CURSO ACADÉMICO 2023/2024**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**LA DISPONIBILIDAD DE AGUA POTABLE EN LOS PAÍSES DE  
ÁFRICA SUBSAHARIANA: EVALUACIÓN EMPÍRICA**

**AVAILABILITY OF CLEAN DRINKING WATER IN SUB-  
SAHARAN AFRICA COUNTRIES: AN EMPIRICAL EVALUATION**

**AUTOR: CASIMIRO MBEGA ANGUE**

**TUTOR: MARCOS FERNÁNDEZ GUTIÉRREZ**

**SANTANDER, SEPTIEMBRE DE 2024.**

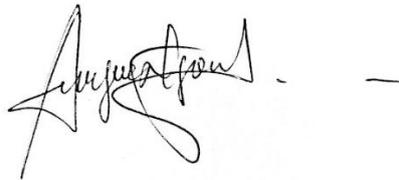
## DECLARACIÓN RESPONSABLE

El/La autor/a es el único responsable del contenido del Trabajo Fin de Master que se presenta.

La Universidad de Cantabria, así como los profesores directores del mismo, no son responsables del contenido último de este Trabajo. En tal sentido, el/la autor/a se hace responsable: 1. De la AUTORÍA Y ORIGINALIDAD del trabajo que se presenta. 2. De que los DATOS y PUBLICACIONES en los que se basa la información contenida en el trabajo, o que han tenido una influencia relevante en el mismo, han sido citados en el texto y en la lista de referencias bibliográficas.

El/La autor/a declara que el Trabajo Fin de Master tiene una extensión inferior a las 10.000 palabras, excluidas tablas, gráficos y bibliografía.

CASIMIRO MBEGA ANGUE

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Casimiro Mbega Angue', with a horizontal line extending to the right.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN.....</b>	<b>4</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>6</b>
<b>2. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....</b>	<b>9</b>
2.1. EL AGUA EN ÁFRICA SUBSAHARIANA.....	9
2.2. LA MEDICIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA: REVISIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE ÍNDICES COMPUESTOS.....	12
<b>3. DATOS Y METODOLOGÍA.....</b>	<b>16</b>
3.1. FUENTE.....	16
3.2. INFORMACIÓN DISPONIBLE E INDICADORES.....	17
3.3. ESTRATEGIA EMPÍRICA.....	20
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>24</b>
4.1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO: APROXIMACIÓN A LOS DATOS.....	24
4.2. EL ACCESO AL AGUA EN ÁFRICA SUBSAHARIANA: EVALUACIÓN A PARTIR DE ÍNDICES COMPUESTOS.....	27
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>44</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>46</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>51</b>

## RESUMEN.

El papel crucial que tiene el agua y el acceso al mismo para el desarrollo económico y social en todo el mundo está ampliamente reconocido, como refleja el hecho de que el acceso al agua constituya uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible establecidos por Naciones Unidas (ONU). Sin embargo, en la región de África Subsahariana, en casi la totalidad de los países las cifras de población con acceso a agua potable se encuentran muy por debajo de la media mundial.

El objetivo de este trabajo es analizar y comparar la situación relativa al acceso al agua en los países de África Subsahariana. Para ello, se utilizan los datos de la ONU, OMS y UNICEF para el año 2020 (el año con más abundancia de datos disponibles para los países de África Subsahariana), correspondientes a una selección de 9 indicadores relativos al acceso al agua y para un total de 20 países para los que se dispone de los datos de estos indicadores. A partir de esta información, se elaboran 10 índices compuestos (IC) para sintetizar la situación de cada país en lo relativo al acceso al agua, siguiendo la metodología empleada por la ONU para calcular el Índice de Desarrollo Humano (IDH) y otras metodologías alternativas. La construcción de los índices compuestos se realiza a partir de tres pasos: la normalización (en el que se presentan cinco métodos diferentes), la ponderación y la agregación (para la cual se calculan la media aritmética y la media geométrica). Los resultados obtenidos llevan a descartar 4 de los IC, cuyos valores resultan incorrectos o sesgados y considerar los 6 IC restantes como válidos. En los IC obtenidos, Sudáfrica, Ghana, Uganda, Costa de Marfil, Lesoto y, en algunos de ellos, RD Congo y Zimbabue se sitúan como los países con mejores resultados. Etiopía, Burkina Faso, Malí, Senegal y, en algunos IC, también Níger, Madagascar, Sierra Leona y Tanzania, se posicionan como los países con peores resultados.

**PALABRAS CLAVE:** Agua, África Subsahariana, acceso, índice compuesto, Índice de Desarrollo Humano, Objetivos de Desarrollo Sostenible.

**ABSTRACT.**

The crucial role of water and access to it for economic and social development around the world is widely recognized, as reflected in the fact that access to water is one of the Sustainable Development Goals established by the United Nations (UN). However, in the sub-Saharan African region, in almost all countries the population with access to drinking water is well below the world average.

The aim of this work is to analyse and compare the situation regarding access to water in the countries of Sub-Saharan Africa. To do this, UN, WHO and UNICEF data for the year 2020 (the year with the most abundant data available for sub-Saharan African countries) are used, corresponding to a selection of 9 indicators related to access to water and for a total of 20 countries for which data for these indicators are available. Based on this information, 10 composite indices (CIs) are developed to synthesize the situation of each country in terms of access to water, following the methodology used by the UN to calculate the Human Development Index (HDI) and other alternative methodologies. The construction of composite indices is carried out from three steps: normalization (in which five different methods are presented), weighting, and aggregation (for which the arithmetic mean and the geometric mean are calculated). The results obtained lead to discarding 4 of the CIs, whose values are incorrect or biased, and considering the remaining 6 CIs as valid. In the CIs obtained, South Africa, Ghana, Uganda, Côte d'Ivoire, Lesotho and, in some of them, DR Congo and Zimbabwe are the countries with the best results. Ethiopia, Burkina Faso, Mali, Senegal and, in some CIs, also Niger, Madagascar, Sierra Leone and Tanzania, are positioned as the countries with the worst results.

**KEY WORDS:** Water, Sub-Saharan Africa, access, Composite Index, Human Development Index, Sustainable Development Goals.

## 1. INTRODUCCIÓN.

La disponibilidad de agua dulce, con una calidad apropiada y en una cantidad suficiente, es esencial para todos los aspectos de la vida y el desarrollo sostenible (ONU, 2018). En septiembre de 2015, la Asamblea General de la ONU aprobó el marco de la AGENDA 2030. En este marco se establecen una serie de metas con plazos concretos que se conocen como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). El objetivo número 6 es “Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos” e incluía 8 metas, las cuales se muestran en la tabla 1 (UN, 2021).

**Tabla 1.1. Metas del objetivo 6 “garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”.**

Meta	Objetivo
6.1	De aquí a 2030, lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos.
6.2	De aquí a 2030, lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones de vulnerabilidad.
6.3	De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.
6.4	De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua.
6.5	De aquí a 2030, implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda.
6.6	De aquí a 2020, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.
6.a	De aquí a 2030, ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidad en actividades y programas relativos al agua y el saneamiento, como los de captación de agua, desalinización, uso eficiente de los recursos hídricos, tratamiento de aguas residuales, reciclado y tecnologías de
6.b	Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento.

FUENTE: UN (2021).

Según los datos de la ONU, WHO/UNICEF (2023), el cumplimiento de las metas de los ODS relacionados con el agua está muy lejos de alcanzarse en los países de la región de África Subsahariana. Como ilustra la tabla 2, en esta región sólo el 29,82% de la

población tenía acceso a una fuente de agua potable gestionada sin riesgos en 2019 (frente al 71,66% del promedio mundial). En África Subsahariana, únicamente en torno al 14% de la población de zonas rurales y el 53% de zonas urbanas contaba con acceso apropiado a agua potable (frente al 60% y al 81%, respectivamente, a nivel mundial).

**Tabla 1.2. Estado del indicador 6.1.1. Proporción de la población que utiliza servicios de suministro de agua potable gestionado sin riesgos, por zonas y región (2019).**

Región	Población rural	Población urbana	Total
América Latina y el Caribe	51,98	81,07	75,51
África Septentrional y Asia Occidental	-	80,94	76,57
África Subsahariana	13,81	52,78	29,82
Asia Central y Meridional	63,39	66,46	64,52
Asia Oriental y Sudoriental	63,39	85,84	76,76
Europa y América del Norte	89,84	96,87	95,27
Mundo	59,95	81,03	71,66

*FUENTE: UN, WHO & UNICEF (2023).*

Este mal desempeño de África Subsahariana se debe, en lo que respecta a las zonas urbanas, a que la cobertura del suministro de agua a través de conexiones domiciliarias ha ido disminuyendo por el rápido crecimiento de la población y de los asentamientos informales en estas zonas, mientras que el acceso a través de otras fuentes mejoradas, como grifos públicos y pozos protegidos, apenas lo compensó (WHO & UNICEF, 2023).

Además, y particularmente en zonas rurales, el difícil acceso a instalaciones de agua en la región de África Subsahariana está provocando que el 7,67% de la población consuma aguas superficiales (procedente directamente de lagos, ríos, arroyos, estanques); que el 13% de la población camine un total de más de 40.000 millones de horas cada año para abastecerse de este recurso; y que el 16,53% utilice agua de pozos excavados sin protección con el exterior (WHO & UNICEF, 2023).

UNICEF (2022) afirma que, en la región de África Subsahariana (especialmente en todo el África Oriental y Occidental), millones de niños y niñas están “al borde de la catástrofe” debido al deficiente acceso al agua. Por ejemplo, en Etiopía, Kenia y Somalia, el número de personas afectadas por la sequía que carecen de un acceso fiable al agua potable alcanzó los 16,2 millones en julio de 2022, una situación que agrava el peligro de que los niños y sus familias contraigan enfermedades como el cólera y la diarrea (que causa

más de 1 millón muertes al año y es la tercera causa principal de morbilidad y mortalidad en África Subsahariana).

En Burkina Faso, Chad, Malí, Níger y Nigeria, la sequía ha potenciado también la falta de agua y, en 2022, había 40 millones de niños y niñas expuestos a niveles elevados o extremadamente elevados de vulnerabilidad respecto al acceso al agua (UNICEF, 2022). Según los datos de la OMS (2020), en África Occidental mueren más niños a causa de la inseguridad del agua y el saneamiento que en cualquier otra parte del mundo.

A la vista de la magnitud e importancia de este tema, es clave disponer de datos comparables entre países y, a partir de ello, realizar un análisis comparativo entre los países de África Subsahariana, para ver cuáles están en una situación más o menos favorable, y en qué aspectos han de enfatizar estos últimos para acercarse a los primeros con respecto a la disponibilidad de agua potable y saneamiento. Este es el objetivo del presente Trabajo Fin de Máster, mediante una evaluación empírica. Para ello, a partir de la información disponible en la base de datos de la ONU, se lleva a cabo una construcción de diez indicadores compuestos (IC) que, a partir de distintas metodologías, permiten sintetizar toda la información disponible en relación a la disponibilidad de agua potable y saneamiento en los países de África Subsahariana.

Los resultados obtenidos llevan a descartar 4 de los IC, cuyos valores resultan incorrectos o sesgados y considerar los 6 IC restantes como válidos. En estos 6 IC, la ordenación de los países y la distancia entre los mismos es bastante estable, en particular si se comparan entre sí los IC calculados mediante la agregación a partir de la media aritmética y los calculados mediante la agregación a partir de la media geométrica. Se observa cómo Sudáfrica, Ghana, Uganda, Costa de Marfil y Lesoto, así como RD Congo (con los IC basados en la media geométrica) y Zimbabue (con los basados en la media aritmética) se sitúan como los países con mejores resultados. En cambio, Etiopía, Burkina Faso, Malí y Senegal, así como Níger y Madagascar (con los IC basados en la media geométrica) y Sierra Leona y Tanzania (con los basados en la media aritmética) se sitúan como los países con peores resultados.

Tras esta introducción, el trabajo se estructura de la siguiente forma. La segunda sección recoge una revisión de la literatura, organizada en dos apartados: un primer apartado que describe la situación relativa al acceso al agua en África Subsahariana; y un segundo apartado que describe las metodologías desarrolladas para calcular índices compuestos como los que el presente TFM elabora para evaluar la disponibilidad de agua. La tercera sección expone la metodología de este TFM: la base de datos utilizada, los países y los indicadores considerados y el método abordado. Tras esto, en la cuarta sección se recogen los resultados del análisis, con un primer análisis descriptivo de los indicadores considerados; y un posterior análisis de los diez IC elaborados para abordar específicamente la pregunta central del trabajo. Por último, la quinta sección expone las conclusiones del trabajo.

## 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA.

### 2.1. EL ACCESO AL AGUA EN ÁFRICA SUBSAHARIANA.

En esta subsección se sintetizan los desafíos y retos que enfrentan los países de África Subsahariana en relación al agua. En un primer apartado se describe el crecimiento de la población, tanto urbana como rural, como factor clave para el acceso al agua; a continuación, se exponen los retos derivados de la concentración y distribución espacial de la población; y, por último, se describen las distintas formas de acceso al agua y sus niveles, tanto para las zonas rurales como para las zonas urbanas.

#### 2.1.1. Un crecimiento poblacional sin precedentes.

Los informes de desarrollo elaborados por instituciones internacionales destacan la revolución demográfica que se está produciendo en África Subsahariana (Lutz & Kc, 2010; UAPS, 2019; UNDESA, 2022). Esta región representaba en 1950 solo el 7,3 % de la población mundial; es decir, 3 veces menos que Europa (21,6%). Actualmente, representa el 15,1%, muy por encima de Europa (9,1%) (Tabla 3) (UNDESA, 2022).

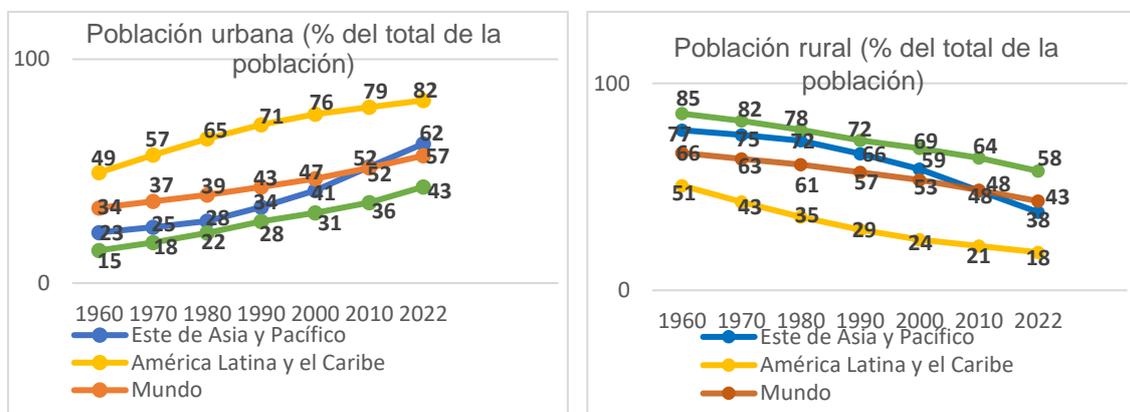
**Tabla 3. Dinámica de la población mundial por región (1950-2050), %.**

Año	África Subsahariana	África Septentrional	América del Norte	Asia	América Latina y el Caribe	Europa	Oceanía
1950	7,3	2,1	6,8	55,4	6,6	21,6	0,5
1960	7,6	2,2	6,7	56,2	7,2	19,9	0,5
1970	8	2,4	6,3	57,8	7,7	17,7	0,5
1980	8,8	2,5	5,7	59,2	8,1	15,6	0,5
1990	9,7	2,8	5,3	60,3	8,3	13,6	0,5
2000	10,9	2,9	5,1	60,7	8,5	11,9	0,5
2010	12,4	3	5	60,4	8,6	10,7	0,5
2020	14,1	3,2	4,8	59,5	8,3	9,5	0,6
2022	14,6	3,3	4,7	59,2	8,3	9,3	0,6
2023	14,9	3,3	4,7	59,1	8,3	9,2	0,6
2024	15,1	3,3	4,7	58,9	8,3	9,1	0,6
2025	15,3	3,3	4,7	58,8	8,2	9	0,6
2030	16,6	3,4	4,6	58	8,2	8,6	0,6
2040	19,1	3,6	4,5	56,3	8	7,9	0,6
2050	21,7	3,8	4,3	54,5	7,7	7,2	0,6

FUENTE: UN (2022). *World Population Prospects*.

El futuro del África Subsahariana, su estabilidad política y su éxito económico tendrán un impacto decisivo en la configuración del mundo ya que, de acuerdo con las proyecciones de Naciones Unidas, se espera que su población esté por encima de 2.000 millones en 2050 (21,7% de la población mundial) (UNDESA, 2022). En África Subsahariana, aun con mayor intensidad que en otras regiones, está creciendo enormemente la población urbana: del 15% que representaba en 1960 hasta el 43% actual (gráfico 1) (WDI, 2024). Este crecimiento de la población urbana está acelerando el nivel de estrés hídrico (WWF, 2015). También se espera que el cambio climático intensifique la escasez de agua, ya que el aumento de las temperaturas y precipitaciones variables conducen a una reducción de los caudales de los ríos en toda la región, haciendo que las sequías duren más y que ocurran con mayor frecuencia (Kusangaya et al. 2014; IPCC, 2014).

**Gráfico 1. Evolución regional de la población urbana y rural (1960-2022).**



FUENTE: Cálculo propio a partir de WDI (2024).

El crecimiento de la población presenta un desafío importante para las autoridades de aguas en zonas urbanas de los países en desarrollo y, en particular, de África Subsahariana.

Este crecimiento de la población en África Subsahariana se produce en gran parte en los barrios de tugurios, donde el acceso a agua y servicios públicos es inadecuado (Dagdeviren y Robertson, 2011). El 51% de habitantes urbanos viven en estos barrios (WDI, 2024), definidos por el Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat) como zonas urbanas con falta de servicios básicos (UN Habitat, 2004).

### 2.1.2. Retos derivados de la concentración y distribución espacial de la población.

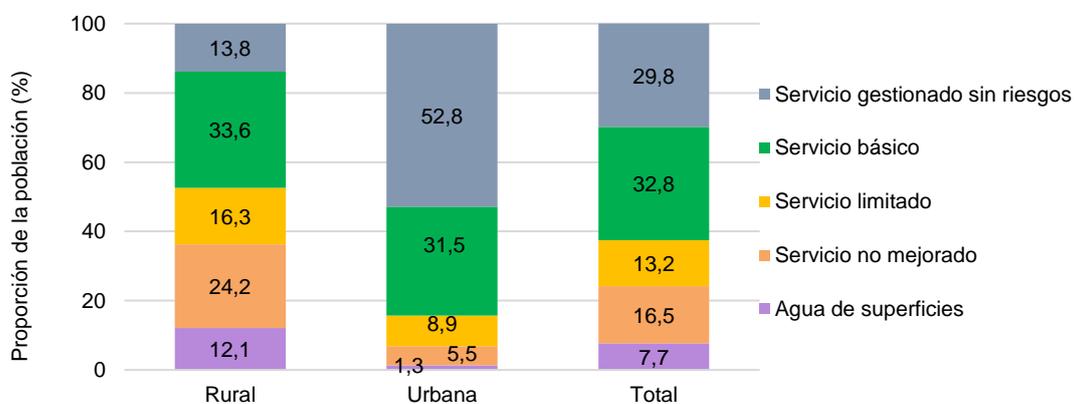
África Subsahariana también se enfrenta a complicaciones espaciales con el suministro de agua. El acceso al agua depende de la concentración y distribución de las fuentes formales en relación con la geografía y calidad de la oferta (Brikké y Vairavamoorthy, 2016).

La concentración de la muchedumbre en el momento de la recogida de agua es un factor problemático en los países de África Subsahariana. Las peleas y las discusiones son frecuentes en estos entornos; por ejemplo, en Camerún, un enfrentamiento por el acceso al agua entre diferentes etnias provocó al menos 22 muertos y cientos de refugiados (Pacific Institute, 2021). Los niños/as y las mujeres son los más vulnerables a la hora de recoger agua en una fuente. UNICEF (2015) ha argumentado que el coste de oportunidad para los niños y niñas es muy alto, ya que les supone una reducción de horas de educación: en Tanzania, por ejemplo, los niveles de asistencia escolar son un 12% más elevados entre niñas que viven a 15 minutos o menos de una fuente de agua que entre aquellas que viven a una hora o más (Dante Maschio Gastelaars, 2019). Cardone y Fonseca (2006) han argumentado que estas tensiones de oferta y demanda de agua cada vez más se inclinan hacia situaciones que se vuelven insostenibles, y sólo con inversiones podrían dejar de intensificarse.

### 2.1.3. Acceso al agua en entornos urbanos y rurales.

África Subsahariana está lejos de cumplir con los ODS relativos a la disponibilidad de agua, con una cobertura de agua potable sin riesgos que actualmente solo alcanza al 29,8% de la población (gráfico 2) y con un ritmo actual de progreso que no permitirá alcanzar el 75% necesario para que la región cumpla con los objetivos fijados por Naciones Unidas (UN, 2023; WHO/UNICEF, 2023).

**Gráfico 2. Cobertura de suministro o servicios de agua en la región de África Subsahariana, por nivel de servicio y ubicación, 2019.**



FUENTE: Cálculo propio a partir de UN, (JMP) WHO/UNICEF (2023).

**Tabla 5. Escalas de servicios del JMP para el monitoreo del agua para consumo.**

NIVEL DE SERVICIO	DEFINICIÓN
GESTIONADO SIN RIESGOS	Agua para consumo proveniente de una fuente de agua mejorada: (i) ubicada en la vivienda o lote, (ii) disponible cuando se necesita y (iii) libre de contaminación fecal y por químicos prioritarios.
BÁSICO	Agua para consumo proveniente de una fuente mejorada en la medida de que el tiempo de ida, espera y vuelta para conseguir agua no sea mayor a 30 minutos.
LIMITADO	Agua para consumo proveniente de una fuente mejorada con un tiempo de ida, espera y vuelta para conseguir agua mayor a 30 minutos.
NO MEJORADO	Agua para consumo de un pozo excavado no protegido o de un manantial no protegido.
AGUA DE SUPERFICIE	Agua para consumo procedente de ríos, represas, lagos, estanques, arroyos, canales o canales de riego.

FUENTE: (JMP) WHO/UNICEF (2022).

Estas cifras (gráfico 2) son incluso más negativas si se tiene en cuenta la magnitud de la inseguridad hídrica en los barrios de tugurios urbanos (Amegah, 2021) y las limitaciones de las métricas actuales para medir el acceso. Por ejemplo, en Uagadugú, la capital de Burkina Faso, el 93% de la población tiene oficialmente acceso a una fuente de agua potable gestionado sin riesgos (World Waternet, 2023). Sin embargo, si se tienen en cuenta dos aspectos clave de la accesibilidad (la cantidad de agua disponible en el entorno doméstico y la distancia al punto de agua), la tasa de acceso al agua se reduce a la mitad (Dos Santos, 2012a).

La tabla 5 describe las categorías establecidas por Naciones Unidas para el monitoreo del agua para consumo, recogidas en el gráfico 2.

El desarrollo de barrios de tugurios es sin duda una de las explicaciones de este bajo acceso al agua, ya que este tipo de barrios dificultan la canalización e instalaciones de suministro de agua en parcelas o patios (Kumpel et al., 2016). Ello intensifica el acceso de agua a través de camiones cisterna, puntos de agua operados por proveedores, proyectos gestionados por la comunidad, fuentes públicas, pozos privados excavados a mano, algún río o arroyo que pase por la zona o por aguas de lluvia (PNUD, 2006).

## 2.2. LA MEDICIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA: REVISIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE ÍNDICES COMPUESTOS.

Este TFM tiene como objetivo evaluar empíricamente la situación de los países de África Subsahariana con respecto a la disponibilidad de agua potable, a partir del cálculo de

una serie de índices compuestos. Por ello, la revisión de la literatura en la que se basa el mismo incorpora a continuación una revisión de la literatura que ha descrito las distintas formas de calcular este tipo de índices.

Un indicador compuesto (IC) es la combinación matemática de indicadores individuales que representan diferentes dimensiones de un concepto (El Gibari et al. 2019). Según la OECD (2008), los IC son herramientas poderosas para el análisis de políticas y la comunicación pública, debido a la información resumida que proporcionan sobre múltiples dimensiones. Ozturk et al. (2024) destaca que los IC ilustran problemas complejos y oscuros (por ejemplo, problemas relacionados con el medio ambiente, la economía, la sociedad o el desarrollo) de una manera simple e interpretable públicamente. Estos indicadores resumidos son valiosos porque limitan el número de estadísticas que deben presentarse y permiten realizar comparaciones rápidas del desempeño de los países. Los IC, no obstante, deben ser lo más transparentes posible y proporcionar información detallada sobre la metodología y las fuentes de datos (Freudenberg, 2003). Debido a su importancia en la formulación de políticas, los IC inapropiados conllevan el peligro de formular recomendaciones de política engañosas (OECD, 2008).

Normalmente, la construcción de un IC implica tres pasos: la normalización, la ponderación y la agregación de los indicadores individuales utilizados en el cálculo (El Gibari et al. 2019). Freudenberg, (2003) propuso cinco alternativas para normalizar o estandarizar los datos: el método de la desviación estándar de la media (que impone una distribución normal estándar; es decir, una media de 0 y una desviación estándar de 1); la distancia del líder del grupo (que asigna una puntuación 100 al país líder, mientras que otros países se clasifican como puntos porcentuales en proporción a su distancia del líder); la distancia desde la media (que da una media de 100, y los países reciben puntuaciones en proporción a su distancia desde la media); la distancia de los mejores y peores resultados (donde el posicionamiento está en relación con el máximo y el mínimo global y el índice toma valores entre 0 -el peor país- y 1 -el país líder-); y la escala categórica (donde a cada país se le asigna una puntuación, ya sea numérica o cualitativa, dependiendo de su posición).

La ponderación consiste en asignar un peso a cada una de las variables o indicadores individuales utilizados en el cálculo del IC. Todas las variables pueden tener la misma ponderación o pueden tener diferentes ponderaciones que reflejen la importancia, la fiabilidad u otras características de los datos subyacentes (Freudenberg, 2003).

Por último, la agregación se refiere a la agrupación de los datos o indicadores individuales, previamente normalizados y ponderados, en un único valor. Existen también múltiples opciones para la agregación de las variables, siendo las más habituales la media aritmética y la media geométrica (Ozturk et al. 2024).

Como medida para cuantificar el bienestar desde una óptica más allá de la renta, el PNUD propuso un IC denominado Índice de Desarrollo Humano (IDH), que es el IC más conocido en el ámbito de la medición del desarrollo de un país. Este IC se basa en tres dimensiones: la salud (años de esperanza de vida), la educación (años de escolaridad esperado y años medios de escolaridad) y la renta-nivel de vida (Gross National Income

per cápita). Para su construcción, el PNUD sigue tres pasos: normalizar con el método 4 empleado por Freudenberg (2003) “*la distancia de los peores y mejores resultados*”; ponderar (todos por el mismo peso) y finalmente la agregación de los indicadores mediante la media geométrica (PNUD, 2023).

Sagar y Najam (1998) realizaron un estudio con el fin de evaluar la capacidad del IDH de mostrar una visión clara sobre el desarrollo, en el que propusieron que se debía de agregar un indicador que capture los efectos de sobreexplotación de los recursos naturales, cuestiones de consumo y sostenibilidad. Asimismo, argumentaron que el método de agregación habría de ser a través de la media geométrica, como desde 2010 pasó a hacer el PNUD (hasta entonces, utilizaba la media aritmética).

Por otro lado, Prakash y Garg (2019) presentaron un indicador alternativo al IDH para medir el desarrollo humano, el progreso y el crecimiento de los países, denominado Índice de Desarrollo Compuesto (CDI en inglés). Este CDI se basa en cuatro parámetros: (i) el IDH ajustado por la desigualdad (IDHI), considerando el coeficiente de Gini y la relevancia de las desigualdades, (ii) el Índice Verde Escalado o impactos ambientales, (iii) el Índice de Paz Escalado y (iv) el Índice de Felicidad Escalado. A los cuatro parámetros del CDI se les han asignado factores de ponderación iguales en el CDI. Esta ponderación por igual la argumentan por la ausencia de una base racional que otorgue una diferente importancia relativa a los parámetros vinculados al desarrollo y crecimiento humano. La fórmula que utilizaron para calcular el CDI de cualquier país es:

$$CDI = 0,25 \times (IDH \text{ ajustado por la desigualdad (IDHI)} + \text{Índice Verde Escalado} + \text{Índice de Felicidad Escalado} + \text{Índice de Paz Escalado})$$

Esto es, se suman los valores de los 4 parámetros y se multiplica por 0,25, para obtener el valor final del CDI. El valor del CDI varía entre 0,1 y 1 para cualquier país. Los autores Prakash y Garg (2019), concluyen que un IDH alto no garantiza un CDI alto, ya que el CDI abarca muchos más componentes: por ejemplo, EE. UU, con un IDH de 0,94, resultó con un CDI de 0,538, por debajo de países como Senegal, Sierra Leona, Zambia, que tienen un IDH inferior a 0,60.

Recientemente, Ozturk et al. (2024) han propuesto un método nuevo y no convencional para medir el desarrollo de un país, que no requiere ninguno de los pasos previamente descritos (normalizar, ponderar y agregar) para construir un IC. Se trata del método de dos pasos de las “Fronteras Pareto”, que Konak et al. (2006) definen como un conjunto de soluciones que no están dominadas entre sí. Para ello, utilizan primero el concepto de optimización multiobjetivo (( $Máx(Mín) F(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x))$ ), sujeta a una restricción), para evaluar todos los componentes seleccionados individualmente y proporcionar un orden inicial de los países, sin una manipulación de los datos. Cuando las soluciones (por ejemplo, países o empresas) están en la misma frontera (es decir, que están dominadas entre sí), estiman un modelo de regresión logit ordenado, que permite calcular una puntuación para cada país.

De Muro et al. (2010), en sus análisis sobre la medición del desarrollo y la pobreza, propusieron nuevos IC alternativos al IDH: Índice de Mazziotto-Pareto (MPI) que, a partir

de una agregación lineal, introduce penalizaciones para los países o áreas geográficas con valores "desequilibrados" de los indicadores; y un Índice de Pobreza Humana (HPI en inglés). El HPI se calcula a partir de 4 indicadores (la probabilidad al nacer de no sobrevivir hasta los 40 años, la tasa de alfabetización de adultos, el porcentaje de la población que no utiliza una fuente de agua mejorada y el porcentaje de niños con peso inferior al peso normal para la edad). Para la normalización, utilizan el método de la desviación estándar, donde los indicadores individuales son convertidos a una escala común con una media "M" = 100 y una desviación estándar "S" = 10. En este tipo de normalización, el "vector ideal" es el conjunto de valores medios y es fácil identificar las unidades que están tanto por encima de la media (valores mayores que 100) como por debajo de la media (valores menores que 100).

Una vez obtenida la media y la desviación estándar con las fórmulas habituales, hallan la matriz estandarizada "Z" cuya fórmula es:  $z_{ij} = 100 \pm \frac{(x_{xj} - M_{xj})}{S_{xj}} 10$ , (+ si el indicador individual representa una dimensión considerada positiva y el signo -, si representa una dimensión considerada negativa). En el segundo paso antes de tener la fórmula generalizada, De Muro et al. (2010) hallan primero el coeficiente de variación

( $CV_i = \frac{M_{zi}}{S_{zi}}$ ) y luego las medias y la desviación estándar con las fórmulas:  $M_{zi} = \frac{\sum_{j=1}^m z_{ij}}{m}$ , y

$S_{zi} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (z_{ij} - M_{zi})^2}{m}}$ . Entonces, la fórmula del MPI viene generalizada de la siguiente

manera:  $MPI_i^{+/-} = M_{zi}(1 \pm cv_i^2) = M_{zi} \pm S_{zi}cv_i$ . Si el indicador es positivo, (por ejemplo, índice de pobreza, cuya fórmula MPI es:  $MPI_i^+ = M_{zi} + S_{zi}cv_i$ ), implica que cuanto más alto es el índice, peor está el país o la zona geográfica; mientras que si es negativo (por el índice de desarrollo, su fórmula MPI es:  $MPI_i^- = M_{zi} - S_{zi}cv_i$ ), cuanto más alto es el índice, más desarrollado está el país o la zona geográfica. El MPI, por su parte, pretende proporcionar una medición compuesta de un conjunto de indicadores que se consideran "no sustituibles" (todos los componentes deben estar "equilibrados").

### 3. DATOS Y METODOLOGÍA.

#### 3.1. FUENTE.

El presente trabajo evalúa empíricamente la situación de los países de la región de África Subsahariana con respecto a la disponibilidad de agua potable y saneamiento, a partir de la elaboración de 10 IC alternativos.

Este objetivo se aborda a partir de los datos relativos al Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 6 (“Agua limpia y saneamiento”) disponibles en la base de datos de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y el programa conjunto de monitoreo y vigilancia del abastecimiento de agua y saneamiento (JMP) de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) (UN 2023; WHO/UNICEF 2023). El ámbito temporal seleccionado para el análisis es el año 2020, debido a que es el año con más abundancia de datos disponibles para los indicadores relacionados con el agua.

El ámbito geográfico del trabajo es la región de África Subsahariana. Es la parte del continente africano al sur del desierto del Sahara, y que no limita con el Mar Mediterráneo (World Atlas, 2021). Esta región está formada por 51 países (tabla 6), divididos a su vez en cuatro subregiones (UN, 2019). La región cuenta con algunos de los lagos de agua dulce más grandes el mundo, como el Victoria, el Tanganica, el Malawi y el Turkana, y algunos de los ríos más extensos y caudalosos del mundo como el Nilo, el Congo, el Níger, el Zambeze y el Orange (World Atlas, 2021). África Subsahariana es una región extensa y muy heterogénea en cuanto al clima, con una gama de climas como el ecuatorial, el tropical húmedo y seco, el tropical monzónico, el semiárido, el desértico y el subtropical de tierras altas; con una humedad muy heterogénea en función de ello, debido a que se encuentra entre el Trópico de Cáncer y el de Capricornio (Wikipedia, 2022). África es el continente definido como más vulnerable en relación al cambio climático (IPCC, 2007).

**Tabla 6. Clasificación de países de África Subsahariana, por subregión.**

África Oriental	Burundi, Comoras, Djibuti, Eritrea, Etiopía, Kenia, Madagascar, Malawi, Maurício, Mayotte, Mozambique, Reunión, Ruanda, Islas Seychelles, Somalia, Sudán del Sur, Uganda, Tanzania, Zambia y Zimbabue.
África Central	Angola, Camerún, República Centroafricana, Chad, Congo, RD Congo, Guinea Ecuatorial, Gabón y Santo Tomé y Príncipe.
África del Sur	Botsuana, Esuatini, Lesoto, Namibia y Sudáfrica.
África Occidental	Benín, Burkina Faso, Cabo Verde, Gambia, Ghana, Guinea, Guinea-Bessau, Liberia, Malí, Mauritania, Níger, Nigeria, Santa Elena, Senegal, Sierra Leona y Togo

FUENTE: UN (2019).

### 3.2. INFORMACIÓN DISPONIBLE E INDICADORES.

En este apartado se describen los indicadores que se van a utilizar para el análisis, incluyendo sus definiciones, método de cálculo y su interpretación según la ONU (UN, 2024). La base de datos utilizada contempla 11 indicadores relativos al ODS 6. Siguiendo las recomendaciones de Freudenberg (2003), se han seleccionado 9 indicadores para el análisis, descartándose los otros dos (el 6.a.1, Volumen de la asistencia oficial para el desarrollo destinada al agua y el saneamiento que forma parte de un plan de gastos coordinados por el gobierno; y el 6.b.1, Proporción de dependencias administrativas locales que han establecido políticas y procedimientos operacionales para la participación de las comunidades locales en la gestión del agua y el saneamiento, de acuerdo con la nomenclatura utilizada por la ONU). El primero de estos indicadores se descarta porque cada país recibe una asistencia diferente del otro y esto no es interpretable como un hecho positivo o negativo de cara a la construcción del IC; y el segundo, porque existen muy pocas observaciones disponibles para los países de África Subsahariana, solo las medias subregionales, lo cual perjudicaría al cálculo de los IC.

Los indicadores seleccionados son los siguientes:

1. Proporción de la población que utiliza servicios de suministro de agua potable gestionados sin riesgos o de manera segura (indicador 6.1.1, de acuerdo con la nomenclatura utilizada por la ONU).

Mide qué porcentaje de la población de cada país utiliza una fuente de agua potable definida como “mejorada” (ver tabla 5). Se calcula como el número de habitantes censados en municipios dados de alta en el Sistema Nacional de Aguas de Consumo (por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro, así como sobre métodos alternativos para el análisis microbiológico del agua de consumo humano) en el año t, entre el número de habitantes censados en el país en dicho año, expresado como porcentaje. La base de datos utilizada ofrece información de este indicador para 44 países de África Subsahariana en el año 2020.

2. Proporción de la población que utiliza servicios de saneamiento gestionados sin riesgos (subindicador 6.2.1.1)

Mide la proporción de la población de cada país que utiliza una instalación de saneamiento mejorada que no se comparte con otros hogares y donde los excrementos se eliminan de forma segura in situ o se retiran y tratan fuera del sitio. Se calcula combinando los datos sobre la proporción de la población que utiliza diferentes tipos de instalaciones de saneamiento básico con estimaciones de la proporción de desechos fecales que se eliminan in situ de forma segura o se tratan fuera del emplazamiento. La base de datos ofrece información de este indicador para 27 países de África Subsahariana en 2020.

3. Proporción de la población nacional con instalaciones básicas permitidas para el lavado de manos (subindicador 6.2.1.2).

## LA DISPONIBILIDAD DE AGUA POTABLE EN LOS PAÍSES DE ÁFRICA SUBSAHARIANA: EVALUACIÓN EMPÍRICA.

Mide el porcentaje de población de cada país que cuenta con instalaciones para lavarse las manos con agua y jabón disponibles en el hogar. El programa conjunto de monitoreo (JMP) de OMS/UNICEF estima la proporción de la población que dispone de un servicio básico de lavado de manos con agua y jabón en las instalaciones ajustando un modelo de regresión a todos los puntos de datos disponibles y validados dentro del período de referencia. Estos datos son obtenidos por (JMP) de OMS/UNICEF, con ayuda de censos, encuestas de hogares, instituciones de investigación nacionales o internacionales. La base de datos proporciona información de este indicador para 36 países de África Subsahariana en 2020.

4. Proporción de los flujos de aguas residuales domésticas e industriales tratados de manera adecuada (Indicador 6.3.1).

Este indicador mide el porcentaje de los volúmenes de aguas residuales generados a través de diferentes actividades del hogar y de las industrias que se tratan de manera segura antes de su vertido al medio ambiente. Se calcula como el cociente entre la cantidad de aguas residuales tratadas de forma segura y la cantidad de aguas residuales generadas. Los datos de este indicador se extraen de cuadros de indicadores de la recopilación de datos y archivos de la División Estadística de la ONU y el PNUMA, sobre estadísticas ambientales, sitios web (sobre estadísticas de agua, archivos Nacionales de (JMP) de OMS/UNICEF, recopilados sobre servicios de saneamiento gestionados de forma segura, y en los informes competentes). La base de datos proporciona información para 48 países de África Subsahariana en 2020.

5. Proporción de masas de agua de buena calidad (Indicador 6.3.2)

Mide la calidad del agua ambiental; es decir, se refiere al agua natural no tratada ni contaminada de ríos, lagos y aguas subterráneas. Se calcula clasificando primero todas las masas de agua evaluadas y, a partir de ello, calculando la proporción entre el número de masas de agua clasificadas como de buen estado de calidad con respecto al número total de masas de agua. Se define un valor umbral del 80% de cumplimiento de parámetros (oxígeno en agua de superficie, salinidad en aguas superficiales y subterráneas, nitrógeno en agua superficial y subterránea, fósforo en agua de superficie, acidificación en aguas superficiales y subterráneas) para clasificar las masas de agua como de "buena" calidad. Las fuentes de datos son los programas de monitoreo de la calidad del agua implementados por las autoridades gubernamentales. La base de datos proporciona información de este indicador para 30 países de África Subsahariana en 2020.

6. Cambio en el uso eficiente de los recursos hídricos con el paso del tiempo (Indicador 6.4.1)

Este indicador evalúa el impacto económico del uso de los recursos hídricos, a partir de la proporción entre el valor agregado y el volumen de agua usada. Se define como el valor añadido por agua usada, expresado en USD/m<sup>3</sup>, de cada sector (agricultura de riego, industria y servicios). Se calcula, a partir de ello, la suma de la eficiencia en el uso del agua de los tres sectores, ponderada de acuerdo al porcentaje de agua usada por cada sector. La fuente de datos proviene de la FAO, en colaboración con fuentes administrativas recopiladas a nivel nacional por las instituciones pertinentes, ya sean

técnicas (para el agua y el riego) o económicas (para el valor añadido), oficinas nacionales de estadística y/o el Ministerio competente para los recursos hídricos y el riego. La base de datos proporciona información de este indicador para 45 países de África Subsahariana en 2020.

7. Nivel de estrés hídrico: extracción de agua dulce en proporción a los recursos de agua dulce disponibles (Indicador 6.4.2).

Este indicador mide la relación entre el agua dulce total extraída por todos los sectores (agricultura, industria y servicios), y el total de recursos de agua dulce renovables, después de tener en cuenta los requisitos de flujo ambiental. El indicador se calcula como el total de agua dulce extraída dividido por la diferencia entre el total de recursos renovables de agua dulce y el caudal ambiental, expresado como porcentaje. Para este indicador, valores más bajos del mismo indican una mejor situación del país, y viceversa. Se identifican cuatro niveles que señalan la gravedad del estrés: (1) sin estrés (<25%); (2) bajo (25% - 50%), (3) medio (50% - 75%), y (4) crítico (75%-100%). Los datos son obtenidos por la ONU, con ayuda de fuentes gubernamentales. La base de datos proporciona información de este indicador para 48 países de África Subsahariana en 2020.

8. Grado de gestión integrada de los recursos hídricos (Indicador 6.5.1).

Este indicador mide el proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinados del agua, el suelo y los recursos relacionados, con el fin de maximizar los resultados económicos y el bienestar social de forma equitativa y sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales. Se clasifica de una escala de 0 a 100, estableciendo seis categorías: (1) muy alto, 90% – 100%; (2) alto, 71% - 90%; (3) medio-alto, 51% - 70%; (4) medio-bajo, 31% – 50%; (5) bajo, 11%-30%; y (6) muy bajo, 0 – 10%. La puntuación del indicador se calcula a partir de una encuesta nacional con 33 preguntas, cada una de las cuales se puntúa en la misma escala de 0 a 100. El indicador final se expresa en porcentaje. Los datos son obtenidos por la ONU, con ayuda de fuentes gubernamentales. La base de datos proporciona información de este indicador para 46 países de África Subsahariana en 2020.

9. Cambio en la extensión de los ecosistemas relacionados con el agua con el paso del tiempo (Indicador 6.6.1).

Este indicador mide en qué medida los diferentes tipos de ecosistemas relacionados con el agua están cambiando a lo largo del tiempo. Para su cálculo, se consideran los cambios que incluyen tanto el aumento como la disminución de la superficie cubierta por las aguas superficiales, que corresponden a inundaciones y sequías y que suelen asociarse al cambio climático. Los cambios se miden en intervalos de cinco años en relación con un período de referencia de 20 años (2000-2019) y se basan en la agregación anual de mapas mensuales de presencia de agua derivados de una serie temporal de datos "Landsat". El indicador se expresa en porcentaje. Para este indicador, valores más bajos del mismo indican una mejor situación del país, y viceversa. Los valores oscilan entre un mínimo de 0-1% (mejor cambio o sin cambio) y 75-100% (cambio crítico). Los datos son obtenidos por la ONU, con ayuda del Centro Común de Investigación de la Comisión Europea - Global Surface Water Explorer. La base de datos

proporciona información de este indicador para 47 países de África Subsahariana en 2020.

### **3.3. ESTRATEGIA EMPÍRICA.**

En este apartado se describen, de acuerdo con Freudenberg (2003), las pautas recomendadas para la selección de datos de cara a la construcción de un IC. Tras ello, se detallan los pasos seguidos en este TFM en lo concernientes a la normalización, ponderación y agregación de los datos en los 10 IC que se elaboran.

De acuerdo con Freudenberg (2003), en la construcción de un IC los indicadores utilizados deben seleccionarse sobre una base sólida, analítica, relevante para el fenómeno que se mide y teniendo en cuenta su relación entre sí. Según este autor, el mayor problema en la construcción de un IC es la falta de datos relevantes. Propone 4 alternativas, (i) la eliminación de datos (eliminar las variables o países que no poseen datos o usar un registro más pequeño solo de los que disponen de datos), (ii) sustituir el valor medio de una variable calculado a partir de los casos disponibles para rellenar los valores que faltan, (iii) el vecino más cercano (identificar y sustituir el caso más similar por el que tiene un valor faltante) y (iv) ignorar los datos faltantes (tomar el índice promedio de los indicadores restantes dentro del componente).

Debido a los problemas operativos que conllevarían las otras dos opciones, este TFM combina la primera y la cuarta de las alternativas propuestas por Freudenberg (2003), tratando con ello de minimizar la pérdida de información y, simultáneamente, de no afectar a su rigurosidad. Por un lado, como se describió con anterioridad, el número de indicadores utilizados se limita a 9: aquellos para los que se dispone de información para un número suficientemente elevado de países (al menos, 20 países de África Subsahariana). Por otro lado, se limita también el número de países a aquellos para los que se dispone de datos para todos los 9 indicadores previamente seleccionados. Queda, con ello, una muestra de 20 países para el análisis (Benín, Burkina Faso, Costa de Marfil, Etiopía, Ghana, Kenia, Lesoto, Madagascar, Malawi, Malí, Níger, Nigeria, República Democrática del Congo (RD Congo), Senegal, Sierra Leona, Sudáfrica, Tanzania, Togo, Uganda y Zimbabwe), que representan el 75% de la población de África Subsahariana (WDI, 2024).

A continuación, para los 9 indicadores seleccionados y los 20 países de África Subsahariana para los que se dispone de información, se construyen los IC, siguiendo los tres pasos descritos por Freudenberg (2003): normalización o estandarización, ponderación y agregación.

#### **NORMALIZACIÓN.**

Para este primer paso, Freudenberg (2003) describe cinco maneras diferentes de normalización o estandarización de indicadores para el cálculo de IC. En este TFM se van a calcular las cinco.

**1. Desviación estándar desde la media**, su fórmula es:

$$\left( \frac{\text{valor actual} - \text{valor de la media}}{\text{desviación estándar}} \right)$$

Donde:

Valor actual, es el valor correspondiente al país en cuestión.

Este método convierte todas las variables en una escala e impone una distribución normal estándar (es decir, una media de 0 y una desviación estándar de 1). Por lo tanto, los valores positivos (negativos) para un país determinado indican un rendimiento superior (inferior) a la media.

**2. Distancia desde el líder del grupo**, su fórmula es:

$$\left( \frac{\text{valor actual}}{\text{valor máximo}} \right) 100$$

Este método asigna 100 al país líder y a los demás países se les asigna una puntuación que refleja su distancia, en puntos porcentuales, respecto a dicho país líder.

**3. Distancia desde la media**, su fórmula es:

$$\left( \frac{\text{valor actual}}{\text{valor de la media}} \right) 100$$

En este método, al valor medio se le asigna una puntuación de 100, y los países reciben puntuaciones en función de su distancia a la media. Los valores superiores a 100 indican un rendimiento superior a la media, mientras que los valores inferiores a 100 indican un rendimiento inferior a la media.

**4. Distancia desde los mejores y peores resultados**, su fórmula es:

$$\left( \frac{\text{valor actual} - \text{valor mínimo}}{\text{valor máximo} - \text{valor mínimo}} \right) 100$$

En este método, el posicionamiento de cada país está en relación con el máximo y el mínimo global de la muestra. El índice toma valores entre 0 (mínimo valor de entre los países de la muestra) y 100 (líder o máximo valor). Este método de normalización es el actual que utiliza el PNUD para el cálculo del IDH.

**5. Escala categórica.**

En este método, a cada variable se le asigna una puntuación numérica, como entre [1... k], siendo  $k > 1$ , dependiendo de si su valor está por encima o por debajo de un umbral dado. En este TFM, para la normalización siguiendo un método de este tipo, se ordenan los países del mejor a peor valor de cada indicador. Al país con mejor valor se le asignan K puntos, siendo  $K = N$  (y siendo N el número de países, 20). Al siguiente país se le asignan K-1 puntos. Así, hasta llegar al país con peor valor, al que se le asigna 1 punto. Para países con valores idénticos, se les da la misma puntuación y al siguiente se le resta 2 en vez de 1.

En los indicadores 7 y 9 de nuestra lista, en los que valores más bajos indican una mejor situación del país, y viceversa, la normalización se ha realizado de la siguiente manera:

para el método 1, la fórmula es:

$$-\left(\frac{\text{valor actual} - \text{valor de la media}}{\text{desviación estándar}}\right)$$

Para el método 2, la fórmula es:

$$\left(\frac{\text{valor máximo}}{\text{valor actual}}\right) 100$$

Para el método 3, la fórmula es:

$$\left(\frac{\text{valor de la media}}{\text{valor actual}}\right) 100$$

Para el método 4, la fórmula es:

$$\left(\frac{\text{valor mínimo} - \text{valor actual}}{\text{valor mínimo} - \text{valor máximo}}\right) 100$$

Para el método 5, se ordenan los países de menor a mayor valor.

## **AGREGACIÓN.**

Al igual que la normalización o estandarización, también existen diversas maneras de agregación de indicadores, siendo las más habituales el método de la media geométrica y aritmética (Ozturk et al., 2024). Estos dos van a ser los métodos de agregación que se van a calcular en este TFM.

### **1. Media aritmética.**

La media aritmética es una función lineal (Munda y Nardo, 2005). Su fórmula es la suma de los indicadores normalizados dividida por el número de indicadores, de la siguiente manera:

$$IC = \frac{z_{i1} + z_{i2} + \dots + z_{ik}}{k}$$

Donde,

$k$  es el número de indicadores

$Z_{ik}$ , es el logro del país  $i$  para el indicador  $k$  (la variable normalizada)

En este método la compensación puede ser una desventaja si un valor bajo en un indicador o dimensión tiene un valor alto en otro; es decir, un déficit en un indicador o dimensión puede ser compensado por un superávit en otro (Booyesen, 2002).

## **2. Media geométrica.**

La media geométrica es el producto de indicadores normalizados ponderados. Se utiliza para evitar problemas relacionados con la interacción y compensación (Tate, 2012). La fórmula es la siguiente:

$$IC = (z_{i1} * z_{i2} * \dots * z_{ik})^{1/k}$$

Donde,

$k$  es el número de indicadores

$Z_{ik}$ , es el logro del país  $i$  para el indicador  $k$  (la variable normalizada)

En este TFM se calculan 10 IC diferentes, tomando las 5 posibles opciones de normalización propuestas por Freudenberg (2003) y los dos métodos de agregación más habituales (la media aritmética y la media geométrica). Con ello, se pretenden comparar los resultados obtenidos en estos 10 IC, y concluir cuál o cuáles de ellos son más apropiados para medir el acceso a agua potable y saneamiento en África Subsahariana.

Para el método de ponderación, se opta en todos los casos por otorgar el mismo peso para cada indicador debido a que, en consonancia con Prakash y Garg (2019), no se tiene una base racional para determinar que alguno de los indicadores tenga una mayor o una menor importancia para la consecución del ODS en lo que respecta al suministro de agua y saneamiento.

## 4. RESULTADOS.

En esta sección se incluye, en un primer apartado, un análisis descriptivo de los 9 indicadores objeto de análisis para los 20 países incluidos en el mismo. Posteriormente, en un segundo apartado y a partir de esta información, se calculan los 10 IC y se describen detalladamente los resultados obtenidos.

### 4.1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO: APROXIMACIÓN A LOS DATOS.

La tabla 4.1.1 recoge los datos de los 9 indicadores seleccionados para el análisis en los 20 países de África Subsahariana incluidos en el mismo.

El primer indicador, proporción de la población que utiliza servicios de suministro de agua potable gestionados sin riesgos (6.1.1), oscila entre el 60,35% de Sudáfrica y el 9,71% de Sierra Leona, con un valor medio de 24,03% en los 20 países incluidos en este análisis.

El segundo indicador, proporción de la población que utiliza servicios de saneamiento gestionados sin riesgos (6.2.1.1), oscila entre el 70,27% de Sudáfrica y el 2,68% de Benín, con un valor medio de 21,34% en los 20 países analizados.

El tercer indicador, proporción de la población con instalaciones básicas para el lavado de manos con agua y jabón en el hogar (6.2.1.2), oscila entre el 44,37% de Sudáfrica y el 5,51% de Lesoto, con un valor medio de 23,21% en los 20 países analizados.

El cuarto indicador, proporción de flujos de aguas residuales domésticas tratadas de forma adecuada (6.3.1), oscila entre el 61,29% de Sudáfrica y el 2,3% de Lesoto, con un valor medio de 13,02% en los 20 países analizados.

El quinto indicador, proporción de masas de agua de buena calidad (6.3.2), oscila entre el 100% de Lesoto y Togo y el 12,46% de Níger, con un valor medio de 76,37% en los 20 países analizados.

En cuanto al sexto indicador, cambio en el uso eficiente de los recursos hídricos con el paso del tiempo (o valor añadido medio del agua) (6.4.1), oscila entre 50,83 USD/m<sup>3</sup> en RD Congo y 0,70 USD/m<sup>3</sup> en Madagascar, con un valor medio de 19,16 USD/m<sup>3</sup> en los 20 países incluidos en este análisis.

El séptimo indicador, nivel de estrés hídrico (extracción de agua dulce en proporción a los recursos de agua dulce disponibles) (6.4.2) oscila entre el 0,23% de RD Congo y el 65,03% de Sudáfrica, con un valor medio de 14,8% en los 20 países analizados.

El octavo indicador, grado de implementación de la gestión integrada de los recursos hídricos (6.5.1), oscila entre el 71% de Sudáfrica y el 32% de RD Congo, con un valor medio de 51% en los 20 países analizados.

Y, finalmente, el noveno indicador, cambio en la extensión de los ecosistemas relacionados con el agua con el paso del tiempo (proporción de cuencas hidrográficas que experimentan grandes cambios en la extensión del agua superficial) (6.6.1), oscila entre el 7% de Níger y el 42% de Burkina Faso, con un valor medio de 23% en los 20 países incluidos en el análisis.

LA DISPONIBILIDAD DE AGUA POTABLE EN LOS PAÍSES DE ÁFRICA SUBSAHARIANA: EVALUACIÓN EMPÍRICA.

**Tabla 4.1.1. Estado de los datos iniciales de los indicadores de diferentes países de África Subsahariana con relación al agua y saneamiento.**

	Indicador 6.1.1	Indicador 6.2.1.1	Indicador 6.2.1.2	Indicador 6.3.1	Indicador 6.3.2	Indicador 6.4.1	Indicador 6.4.2	Indicador 6.5.1	Indicador 6.6.1
	Proporción de la población que utiliza servicios de suministro de agua potable gestionados sin riesgos (%)	Proporción de la población que utiliza servicios de saneamiento gestionados sin riesgos (%)	Proporción de la población con instalaciones básicas para el lavado de manos con agua y jabón en el hogar (%)	Proporción de los flujos de aguas residuales domésticas tratados de manera adecuada (%)	Proporción de masas de agua de buena calidad (%)	Valor añadido medio del agua usada (USD/m3)	Nivel de estrés hídrico: extracción de agua dulce en proporción a los recursos de agua dulce disponibles (%)	Grado de implementación de la gestión integrada de los recursos hídricos (%)	Cambio en la extensión de los ecosistemas relacionados con el agua con el paso del tiempo (%)
Benín	27,12	2,68	12,03	4,30	89,42	40,53	0,98	68,00	41,00
Burkina Faso	22,10	9,16	9,01	2,30	97,70	13,75	7,82	66,00	42,00
Costa de Marfil	43,64	16,69	21,62	14,20	80,00	38,55	5,09	40,00	20,00
Etiopía	12,34	6,93	8,17	2,32	96,77	5,35	32,26	41,00	29,00
Ghana	42,34	14,67	41,54	12,13	83,00	32,71	6,31	57,00	30,00
Kenia	25,67	30,87	37,50	9,43	86,52	14,93	33,24	59,00	23,00
Lesoto	27,52	47,62	5,51	2,30	100,00	41,67	2,57	45,00	20,00
Madagascar	20,76	11,47	23,52	9,33	90,67	0,73	11,26	38,00	8,00
Malawi	16,49	42,09	15,30	6,45	75,25	5,60	17,50	55,00	15,00
Mali	21,12	14,89	17,03	3,40	70,00	1,96	8,00	52,00	11,00
Niger	13,43	7,60	23,49	4,00	80,00	2,76	11,02	53,00	7,00
Nigeria	27,85	30,62	30,84	48,29	12,46	30,12	9,67	44,00	38,00
RD Congo	11,19	13,08	19,17	12,30	66,00	50,83	0,23	32,00	18,00
Senegal	26,06	13,68	22,01	14,17	44,44	5,63	16,28	50,00	26,00
Sierra Leona	9,71	14,00	16,91	8,39	41,70	9,36	0,50	36,00	22,00
Sudáfrica	60,35	70,27	44,37	61,29	52,11	15,51	65,03	71,00	26,00
Tanzania	10,71	24,91	28,65	5,34	85,33	8,70	12,96	54,00	33,00
Togo	18,84	5,73	17,15	15,04	100,00	22,75	3,39	34,00	22,00
Uganda	16,75	17,49	28,05	2,41	92,67	38,23	5,83	62,00	17,00
Zimbabue	26,57	32,38	42,43	22,99	83,33	3,45	46,09	63,00	12,00
Media	24,03	21,34	23,21	13,02	76,37	19,16	14,80	51,00	23,00

FUENTE: UN, (JMP) WHO/UNICEF (2023).

#### **4.2. EL ACCESO AL AGUA EN ÁFRICA SUBSAHARIANA: EVALUACIÓN A PARTIR DE ÍNDICES COMPUESTOS.**

El objetivo de este apartado es describir la situación de los 20 países de África Subsahariana incluidos en el análisis en lo relativo a la disponibilidad de agua y saneamiento, a partir del cálculo de 10 IC diferentes y la comparación de los resultados obtenidos en ellos.

Las tablas A.1 (para el indicador 6.1.1), A.2 (indicador 6.2.1.1), A.3 (indicador 6.2.1.2), A.4 (indicador 6.3.1), A.5 (indicador 6.3.2), A.6 (indicador 6.4.1), A.7 (indicador 6.4.2), A.8 (indicador 6.5.1) y A.9 (indicador 6.6.1), disponibles en el anexo, muestran los resultados de la normalización de cada uno de los indicadores considerados de acuerdo con los 5 métodos de normalización (desviación estándar desde la media, distancia desde el líder del grupo, distancia desde la media, distancia desde los mejores y peores resultados y la escala categórica) propuestos por Freudenberg (2003).

Cada método tiene sus ventajas y desventajas:

El método de la desviación estándar desde la media asume una distribución "normal"; tiene un promedio de cero, lo que significa que evita introducir distorsiones de agregación derivadas de diferencias en las medias variables. Los valores superiores a 0 representan valores superiores a la media de los 20 países para el indicador en cuestión; y los valores inferiores a 0, valores inferiores a la media. De acuerdo con este método, el 6.1.1 toma valores entre 2,86 para Sudáfrica y -1,13 para Sierra Leona; el 6.2.1.1, entre 2,91 para Sudáfrica y -1,11 para Benín; el 6.2.1.2, entre 1,83 para Sudáfrica y -1,53 para Lesoto; el 6.3.1, entre 3,12 para Sudáfrica y -0,69 para Lesoto; el 6.3.2, entre 1,03 para Lesoto y Togo y -2,78 para Nigeria; el 6.4.1, entre 1,95 para RD Congo y -1,36 para Madagascar; el 6.4.2, entre 0,86 para RD Congo y -2,96 para Sudáfrica; el 6.5.1, entre 1,69 para Sudáfrica y -1,60 para RD Congo; y finalmente, el 6.6.1, entre 1,55 para Níger y -1,85 para Burkina Faso.

El método de la distancia desde el líder del grupo toma valores entre 0-100 (asigna 100 al país que tiene un mejor dato para cada indicador); los resultados de los demás países reflejan la distancia en puntos porcentuales con respecto al líder. Siguiendo este método de normalización, el indicador 6.1.1 toma valores entre 100 para Sudáfrica y 16,09 para Sierra Leona; el 6.2.1.1, entre 100 para Sudáfrica y 3,81 para Benín; el 6.2.1.2, entre 100 para Sudáfrica y 12,41 para Lesoto; el 6.3.1, entre 100 para Sudáfrica y 3,75 para Lesoto; el 6.3.2, entre 100 para Lesoto y Togo y 2,46 para Nigeria; el 6.4.1, entre 100 para RD Congo y 1,43 para Madagascar; el 6.4.2, entre 100 para RD Congo y 0,35 para Sudáfrica; el 6.5.1, entre 100 para Sudáfrica y 45,07 para RD Congo; y finalmente, el 6.6.1, entre 100 para Níger y 16,66 para Burkina Faso.

En el método de la distancia desde la media, al valor medio se le asigna una puntuación de 100. Los valores superiores a 100 indican un rendimiento superior a la media, mientras que los valores inferiores a 100 indican un rendimiento inferior a la media. Este método puede estar menos sujeta a la distorsión de valores atípicos o variables que experimentan una gran varianza (Freudenberg, 2003). Los primeros 4 indicadores

## LA DISPONIBILIDAD DE AGUA POTABLE EN LOS PAÍSES DE ÁFRICA SUBSAHARIANA: EVALUACIÓN EMPÍRICA.

toman valores que oscilan entre 251,14, 329,25, 191,12 y 470,76, respectivamente, para Sudáfrica; y 40,42 para Sierra Leona, 12,56 para Benín y 23,73 y 17,66 para Lesoto, respectivamente. El quinto indicador oscila entre 130,94 para Lesoto y 16,31 para Nigeria. Los indicadores sexto y séptimo oscilan entre 265,34 y 6.435,43, respectivamente, para RD Congo y 3,81 de Madagascar y 22,76 de Sudáfrica, respectivamente. El octavo indicador oscila entre 139,21 para Sudáfrica y 62,74 para la RDC. Finalmente, el noveno indicador oscila entre 328,47 para Níger y 54,74 para Burkina Faso.

En el método de la distancia desde los mejores peores y resultados, los valores oscilan entre 0 y 100 ("0" para el país con el peor valor y "100" viceversa). En los cuatro primeros indicadores, oscilan entre 100 para Sudáfrica (país líder en los cuatro) y 0 para Sierra Leona, Benín y Lesoto (países más rezagados en el primer, el segundo y simultáneamente el tercer y cuarto indicador, respectivamente). El quinto indicador oscila entre 100 para Lesoto y 0 para Nigeria. El sexto y el séptimo indicador oscilan entre 100 para RD Congo, en ambos casos, y 0 para Madagascar y 0 para Sudáfrica, respectivamente. El octavo indicador oscila entre 100 para Sudáfrica y 0 para RD Congo. Por último, el noveno indicador oscila entre 100 para Níger y 0 para Burkina Faso. Este método se basa en los valores extremos, que pueden ser valores poco fiables (Freudenberg, 2003).

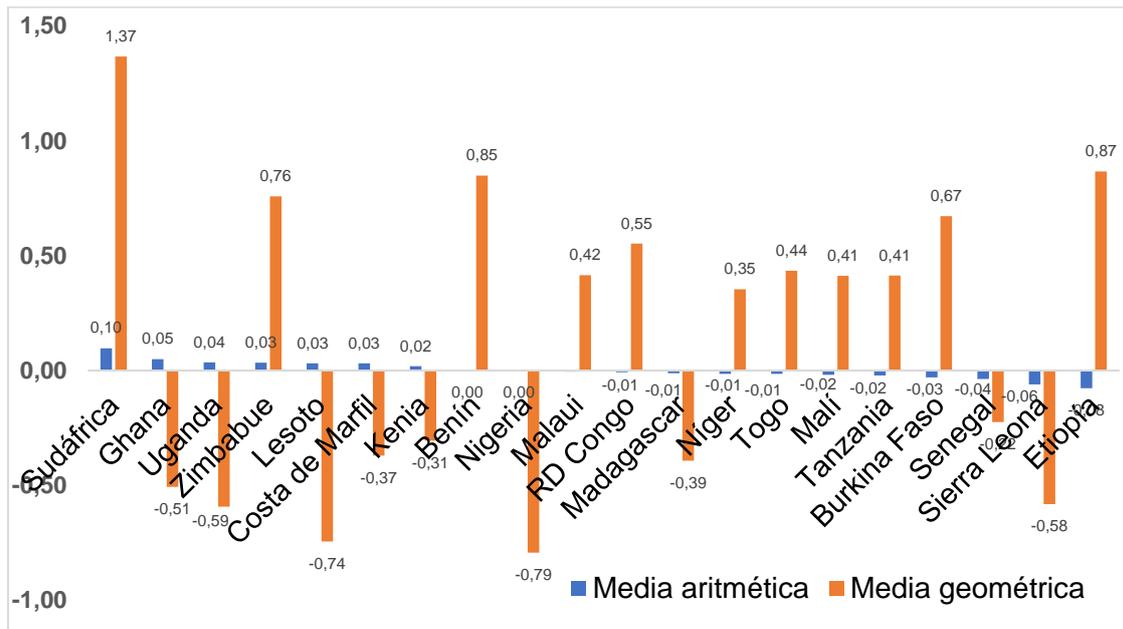
De acuerdo con el método de la escala categórica, para los cuatro primeros indicadores, los valores oscilan entre 20 para Sudáfrica y 1 para Sierra Leona en 6.1.1, Benín en el 6.2.1.1 y Lesoto en 6.2.1.2 y 6.3.1. El 6.3.2, entre 20 para Togo y Lesoto y 1 para Nigeria; en 6.4.1 y 6.4.2, entre 20 para RD Congo y 1 para Madagascar y Sudáfrica, respectivamente; el 6.5.1, entre 20 para Sudáfrica y 1 para RD Congo; el 6.6.1, entre 20 para Níger y 1 para Burkina Faso. Este método tiene un alto grado de subjetividad, ya que si un país puntúa muy bien en todos los indicadores excepto en uno (muy mal en uno), sobre pondera ese indicador en el que puntúa mal. Estos métodos de clasificación también omiten una gran cantidad de información sobre el grado de variación entre países (Freudenberg, 2003).

A continuación, en la tabla 4.2.1 se muestran los cálculos de los 10 IC, a partir de la agregación mediante dos métodos diferentes (media aritmética y media geométrica) de los indicadores previamente normalizados con cada uno de los cinco métodos de normalización propuestos por Freudenberg (2003). Seguidamente, para cada uno de los cinco métodos de normalización, se incluye un gráfico (ver gráficos 4.2.1 al 4.2.5) en los que se comparan los valores resultantes de la agregación a partir de la media aritmética y de la media geométrica.

Para los valores obtenidos con el método de la desviación estándar desde la media (gráfico 4.2.1), se observan notorias diferencias en el orden de los países según la agregación se haga a partir de la media aritmética o de la media geométrica. Por ejemplo, Ghana y Uganda, que se sitúan en los primeros puestos de acuerdo con la media aritmética, lo hacen entre los últimos con la media geométrica; y lo contrario ocurre para países como Etiopía y Burkina Faso. Ocurre que el cálculo de la media geométrica con números negativos es inapropiado. Debido a que de la normalización mediante el método de la desviación estándar desde la media se obtienen números

negativos, la agregación mediante la media geométrica en este caso ha de descartarse, y se mantiene solo como válido el IC calculado a partir de la agregación mediante la media aritmética.

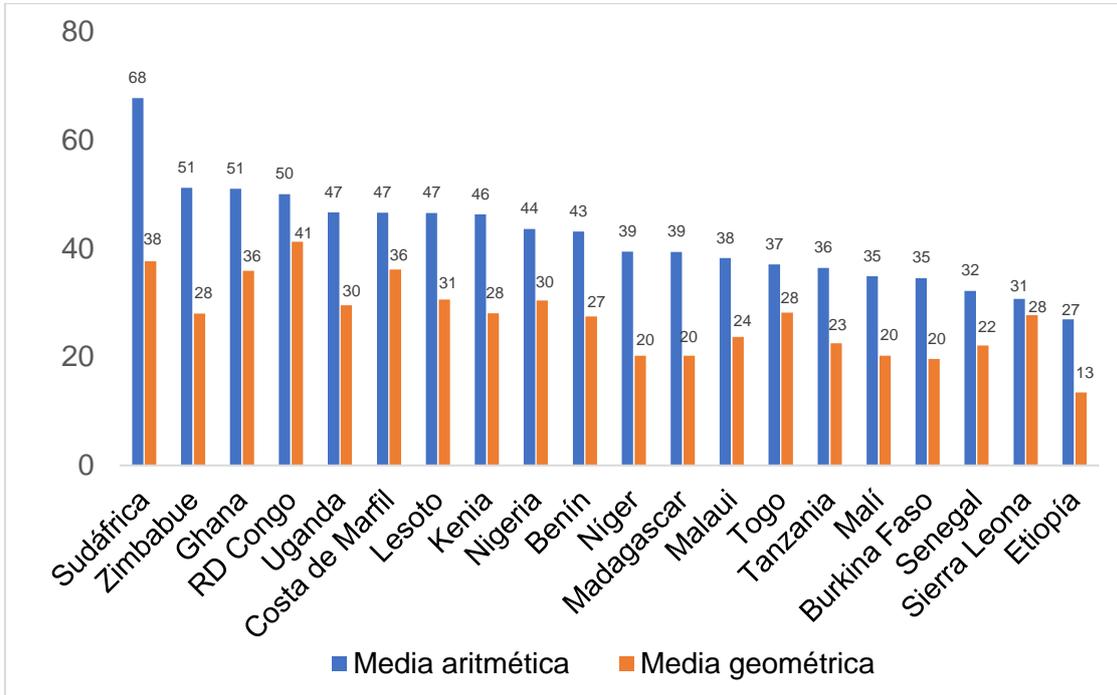
**Gráfico 4.2.1. Comparativa del IC de disponibilidad de agua potable y saneamiento calculados a partir de la media aritmética y la media geométrica, para el método de la desviación estándar desde la media.**



FUENTE: Cálculo propio a partir de UN, (JMP) WHO/UNICEF (2023).

Para los valores obtenidos con el método de la distancia desde el líder del grupo (gráfico 4.2.2), la agregación tanto mediante la media aritmética como mediante la media geométrica ofrece IC válidos, sin problemas como el descrito anteriormente. No obstante, sí se observan algunas en la ordenación de los países en función de la utilización de la media aritmética o la media geométrica. Por ejemplo, Sudáfrica destaca muy claramente como el mejor país si se considera la media aritmética, pero la distancia con los demás países es menor si se considera la media geométrica (incluso, es superada por RD Congo). Eso implica que, para un país que ofrece buenos datos de la mayoría de los indicadores, pero datos muy malos de unos pocos indicadores (caso de Sudáfrica, Lesoto y Benín), el cálculo del IC sería más favorable con la media aritmética, y menos con la media geométrica.

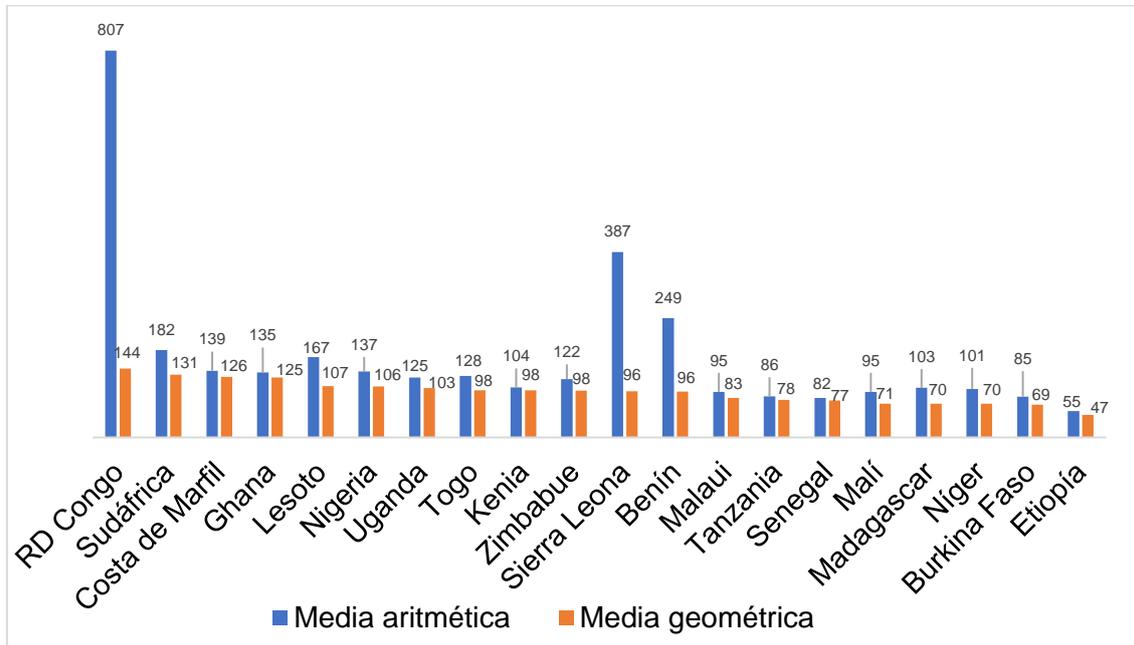
**Gráfico 4.2.2. Comparativa del IC de disponibilidad de agua potable y saneamiento calculados a partir de la media aritmética y la media geométrica, para el método de la distancia desde el líder del grupo.**



FUENTE: Cálculo propio a partir de UN, (JMP) WHO/UNICEF (2023).

Para los valores obtenidos con el método de la distancia desde la media (gráfico 4.2.3), el orden de los países cambia en función de si la agregación se realiza a partir de la media aritmética o de la media geométrica. Además, cambia notoriamente la distancia entre los países: los valores calculados a partir de la media aritmética muestran una gran dispersión entre ellos, en comparación con los derivados de la media geométrica. Ocurre que la media aritmética es, en este caso, muy sensible a tener valores muy altos en uno o unos pocos indicadores, lo cual enmascara que pueda haber valores más bajos en el resto de indicadores y da lugar a diferencias desproporcionadas. Por ejemplo, RD Congo queda como el mejor país de acuerdo con la media geométrica, pero a poca distancia de otros como Sudáfrica y Costa de Marfil, mientras que queda desproporcionadamente por encima de ellos de acuerdo con la media aritmética. Mientras, Sierra Leona, con un IC intermedio de acuerdo con la media geométrica, queda también con un valor desproporcionadamente elevado de acuerdo con la media aritmética. Por lo tanto, para este método de normalización, es preferible la agregación mediante la media geométrica.

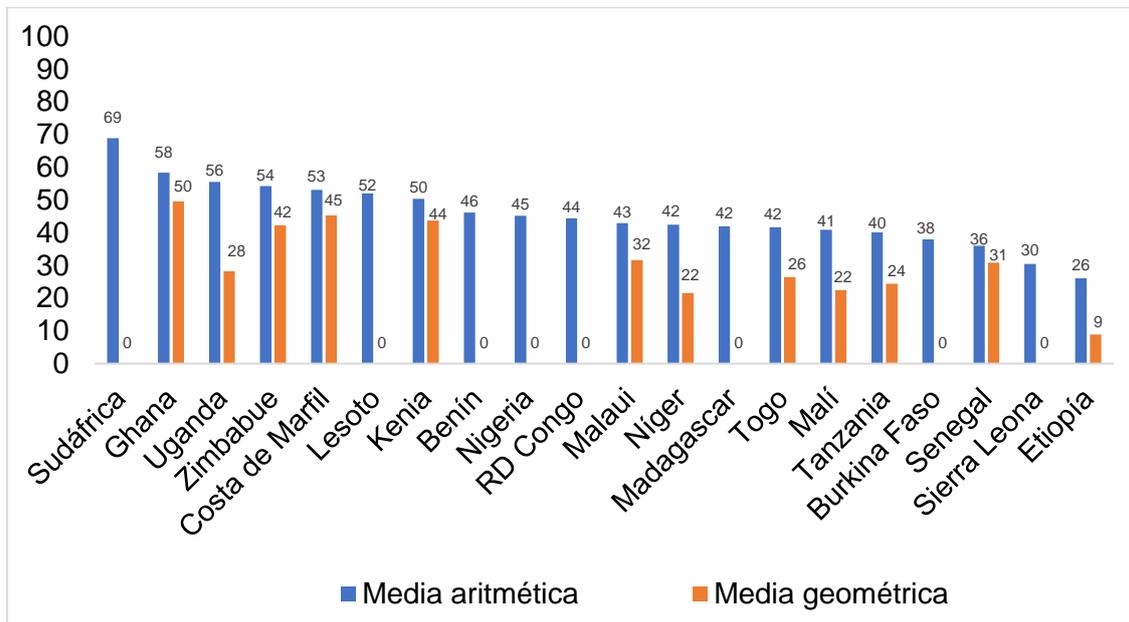
**Gráfico 4.2.3. Comparativa del IC de disponibilidad de agua potable y saneamiento calculados a partir de la media aritmética y la media geométrica, para el método de la distancia desde la media.**



FUENTE: Cálculo propio a partir de UN, (JMP) WHO/UNICEF (2023).

Para los valores obtenidos mediante el método de la distancia desde los mejores y peores resultados (gráfico 4.2.4), se observa cómo la agregación a partir de la media geométrica da lugar a la obtención de abundantes ceros. El problema aquí es que basta con que un país tenga el peor valor en uno de los 9 indicadores para que tenga un 0 en el IC, de acuerdo a la fórmula que se utiliza para calcular la media geométrica. Este método para calcular el IC es el que utiliza el IDH (donde el número de países es mucho mayor y, en cambio, el número de indicadores utilizados es mucho menor, lo cual da lugar a muy pocos ceros en el IC); sin embargo, para el análisis realizado en este TFM no resulta apropiado. Resulta, en cambio, más adecuada la agregación a partir de la media aritmética.

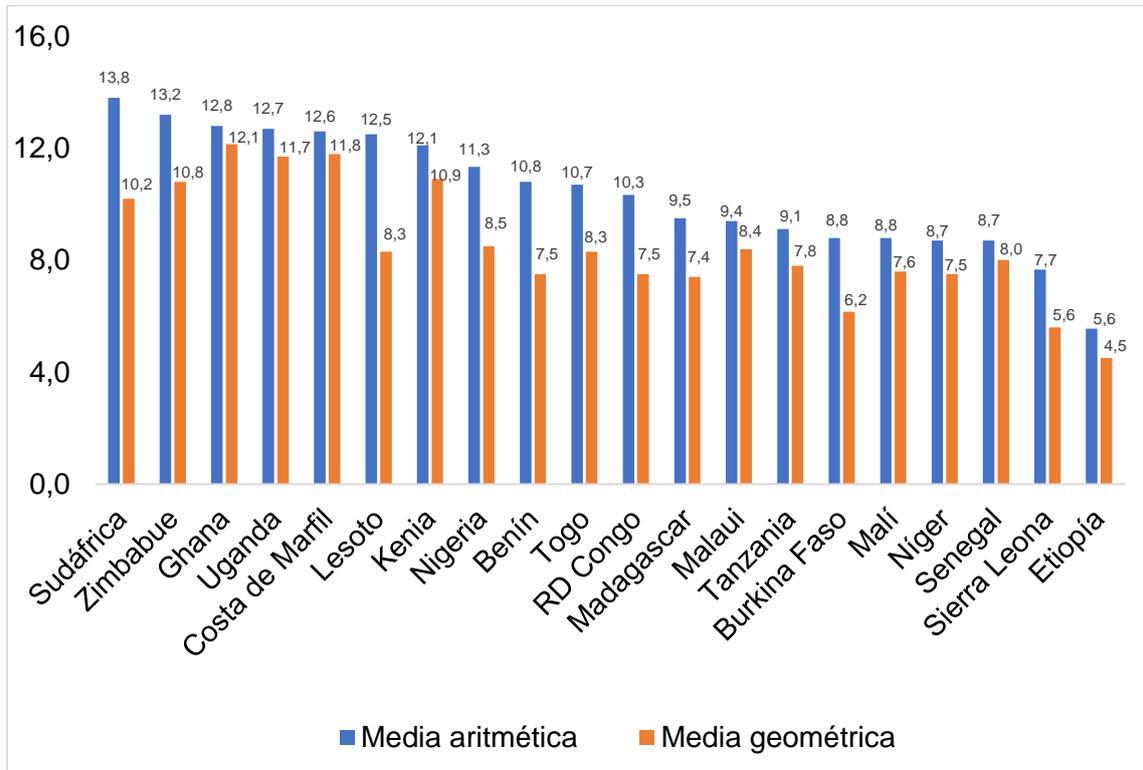
**Gráfico 4.2.4. Comparativa del IC de disponibilidad de agua potable y saneamiento calculados a partir de la media aritmética y la media geométrica, para el método de la distancia desde los mejores y peores resultados.**



FUENTE: Cálculo propio a partir de UN, (JMP) WHO/UNICEF (2023).

Por último, para los valores obtenidos mediante el método de la escala categórica (gráfico 4.2.5), el orden de los países cambia sustancialmente en función de si la agregación se realiza a partir de la media aritmética o de la media geométrica. El problema, en este caso, es que, para el método utilizado para obtener los valores de cada país, el cálculo de la media geométrica pondera a la baja en demasía la mala puntuación de un país en uno o unos pocos indicadores, con independencia de que sea buena su puntuación en el resto. Por ello, la media geométrica distorsiona el orden de los países y la distancia entre ellos, y en este caso resulta más apropiada la agregación mediante la media aritmética.

**Gráfico 4.2.5. Comparativa del IC de disponibilidad de agua potable y saneamiento calculados a partir de la media aritmética y la media geométrica, para el método de la escala categórica.**



FUENTE: Cálculo propio a partir de UN, (JMP) WHO/UNICEF (2023).

LA DISPONIBILIDAD DE AGUA POTABLE EN LOS PAÍSES DE ÁFRICA SUBSAHARIANA: EVALUACIÓN EMPÍRICA.

**Tabla 4.2.1. Valores de los 10 IC calculados para los indicadores de disponibilidad de agua y saneamiento en los 20 países de África Subsahariana.**

	Media aritmética					Media Geométrica				
	Desviación estándar desde la media	Distancia desde el líder del grupo (Líder=100)	Distancia desde la media (Promedio=100)	Distancia desde los mejores y peores resultados (Líder=100, peor=0)	Escala categórica	Desviación estándar desde media	Distancia desde el líder del grupo (Líder=100)	Distancia desde la media (Promedio=100)	Distancia desde los mejores y peores resultados (Líder=100, peor=0)	Escala categórica
Benín	0,00	43,15	248,75	46,21	10,89	0,85	27,48	95,79	0,00	7,47
Burkina Faso	-0,03	34,56	84,95	37,99	8,89	0,67	19,67	68,56	0,00	6,16
Costa de Marfil	0,03	46,63	139,14	53,10	12,67	-0,37	36,13	125,95	45,32	11,81
Etiopía	-0,08	26,93	55,23	26,07	5,56	0,87	13,43	46,83	8,92	4,58
Ghana	0,05	51,01	135,50	58,33	12,89	-0,51	35,90	125,15	49,58	12,15
Kenia	0,02	46,30	104,17	50,39	12,00	-0,31	28,09	97,92	43,71	10,95
Lesoto	0,03	46,54	167,41	52,88	12,56	-0,74	30,59	106,64	0,00	8,33
Madagascar	-0,01	39,35	103,23	41,99	9,56	-0,39	20,22	70,49	0,00	7,45
Malawi	0,00	38,21	94,97	43,87	9,44	0,42	23,68	82,54	31,68	8,42
Mali	-0,02	34,86	95,01	40,91	8,89	0,41	20,24	70,58	22,45	7,67
Niger	-0,01	39,41	101,03	42,46	8,78	0,35	20,21	70,46	21,54	7,52
Nigeria	0,00	43,61	137,39	45,18	11,33	-0,79	30,39	105,93	0,00	8,48
RD Congo	-0,01	50,04	806,95	44,46	10,33	0,55	41,25	143,82	0,00	7,49
Senegal	-0,04	32,18	82,35	36,06	8,78	-0,22	22,13	77,14	30,87	8,01
Sierra Leona	-0,06	30,72	386,91	30,45	7,67	-0,58	27,68	96,50	0,00	5,61
Sudáfrica	0,10	67,77	182,43	68,95	13,89	1,37	37,63	131,20	0,00	10,23
Tanzania	-0,02	36,44	85,85	40,13	9,11	0,41	22,50	78,45	24,39	7,81
Togo	-0,01	37,09	128,01	41,71	10,78	0,44	28,17	98,20	26,50	8,36
Uganda	0,04	46,68	124,74	55,58	12,78	-0,59	29,51	102,88	28,21	11,78
Zimbabue	0,03	51,21	121,78	54,24	13,22	0,76	28,02	97,67	42,23	10,84

FUENTE: UN, (JMP) WHO/UNICEF (2023).

Por tanto, de los 10 IC calculados, se descartan 4, por los siguientes motivos:

1. La agregación mediante la media geométrica tras la normalización mediante la desviación estándar desde la media, debido a que matemáticamente es incorrecto.
2. La agregación mediante la media aritmética tras la normalización mediante el método de distancia desde la media, debido a que sesga al alza el resultado ante la existencia de datos muy positivos aisladamente en alguno de los indicadores.
3. La agregación mediante la media geométrica tras la normalización mediante el método de distancia desde los mejores y peores resultados, porque para el caso objeto de análisis en este TFM resulta inapropiado, al obtenerse demasiados valores iguales a cero.
4. La agregación mediante la media geométrica tras la normalización mediante el método de la escala categórica, debido a que sesga a la baja el resultado ante la existencia de datos muy negativos aisladamente en alguno de los indicadores.

Restan, por tanto, 6 IC que cabe considerar como válidos para evaluar la situación de los 20 países objeto de análisis en lo relativo a la disponibilidad de agua potable y saneamiento. La tabla 4.2.2 resume la ordenación de los 20 países de acuerdo con cada uno de estos 6 IC.

**Tabla 4.2.2. Ranking de los 6 IC según método, considerados válidos para evaluar la situación de los 20 países objeto de análisis en lo relativo a la disponibilidad de agua y saneamiento en los países de África Subsahariana.**

	Media aritmética			Escala categórica	Media geométrica	
	Desviación estándar desde la media	Distancia desde el líder del grupo (Líder=100)	Distancia desde los mejores y peores resultados (Líder=100, peor=0)		Distancia desde el líder del grupo (Líder=100)	Distancia desde la media (Promedio=100)
Benín	8	10	8	9	12	12
Burkina Faso	17	17	17	15	19	19
Costa de Marfil	6	6	5	5	3	3
Etiopía	20	20	20	20	20	20
Ghana	2	3	2	3	4	4
Kenia	7	8	7	7	9	9
Lesoto	5	7	6	6	5	5
Madagascar	12	11	13	12	17	17
Malaui	10	13	11	13	13	13
Malí	15	16	15	16	16	16
Níger	13	11	12	17	18	18
Nigeria	9	9	9	8	6	6
RD Congo	11	4	10	11	1	1
Senegal	18	18	18	18	15	15
Sierra Leona	19	19	19	19	11	11
Sudáfrica	1	1	1	1	2	2
Tanzania	16	15	16	14	14	14
Togo	14	14	14	10	8	8
Uganda	3	5	3	4	7	7
Zimbabue	4	2	4	2	10	10

*FUENTE: Cálculo propio a partir de UN, (JMP) WHO/UNICEF (2023).*

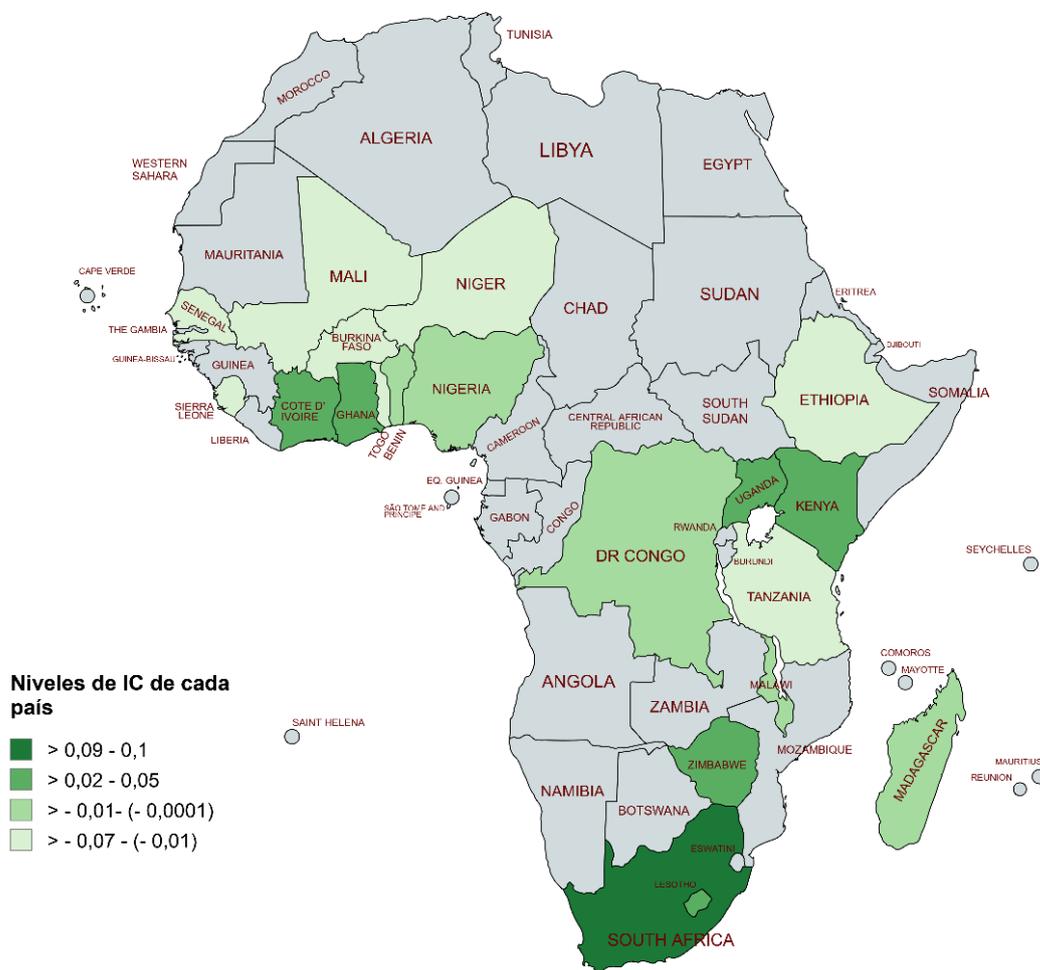
La tabla 4.2.2 muestra cómo la ordenación de los países es bastante estable, especialmente si se comparan entre sí los IC basados en la agregación mediante la media aritmética, por un lado, y los basados en la agregación mediante la media geométrica, por otro. Por ejemplo, Sudáfrica queda como el mejor país en los cuatro IC basados en la agregación mediante la media aritmética, mientras que Ghana, Zimbabue, Uganda, Costa de Marfil y Lesoto ocupan en todos ellos las posiciones más favorables. En cambio, los últimos puestos los ocupan en todos ellos Etiopía, Sierra Leona y Senegal, junto con Burkina Faso, Malí y Tanzania.

En el caso de los IC basados en la agregación mediante la media geométrica, se observan algunas variaciones respecto a los basados en la media aritmética. Coincidiendo con lo anterior, Sudáfrica, Ghana, Uganda, Costa de Marfil y Lesoto se sitúan todos ellos entre los primeros puestos, aunque con algunas variaciones en el orden respecto a los cálculos basados en la media aritmética. Entra en los primeros puestos (de hecho, ocupando el primer lugar en los dos IC basados en la media geométrica) RD Congo, y sale de ellos, en cambio, Zimbabue. Los métodos de normalización según la distancia desde el líder del grupo y según la distancia desde la media asignan a un país con un valor extremadamente positivo en un indicador, pero no en el resto (caso de RD Congo) valores finales muy altos, en particular si el método de agregación es la media geométrica. Respecto a los países con peores valores, para los IC basados en la agregación mediante la media geométrica, se mantienen en las últimas posiciones Etiopía, Burkina Faso, Malí y Senegal; mejoran algunas posiciones Sierra Leona y Tanzania; y, en cambio, empeoran algunas posiciones Níger y Madagascar.

Para finalizar, los mapas 4.2.1 a 4.2.6 sintetizan la situación geográfica de los países objeto de análisis de acuerdo con cada uno de los 6 IC considerados válidos para el análisis. En ellos se establecen cuatro tonos de verdes: verde más intenso, los mejores países; una segunda gama menos intensa que la anterior, para los países situados a continuación; una tercera gama, menos intensa que la anterior, para un tercer grupo; y una cuarta gama de verde poco intenso, los países con peores resultados. Como se observa, los países con mejores resultados (en tonos más intensos de verde) se sitúan en general en África del Sur (Sudáfrica, Zimbabue), en zonas costeras de África Occidental (Ghana, Costa de Marfil), junto con algún caso de África Central (RD Congo) y el interior de África Oriental (Uganda). En cambio, los países con peores resultados (en tonos menos intensos de verde) se sitúan fundamentalmente en el interior del continente, tanto de África Oriental (Etiopía) como Occidental (Burkina Faso, Malí, Níger) junto con otros países de África Occidental (Senegal, Sierra Leona) y Oriental (Tanzania, Madagascar).

LA DISPONIBILIDAD DE AGUA POTABLE EN LOS PAÍSES DE ÁFRICA SUBSAHARIANA: EVALUACIÓN EMPÍRICA.

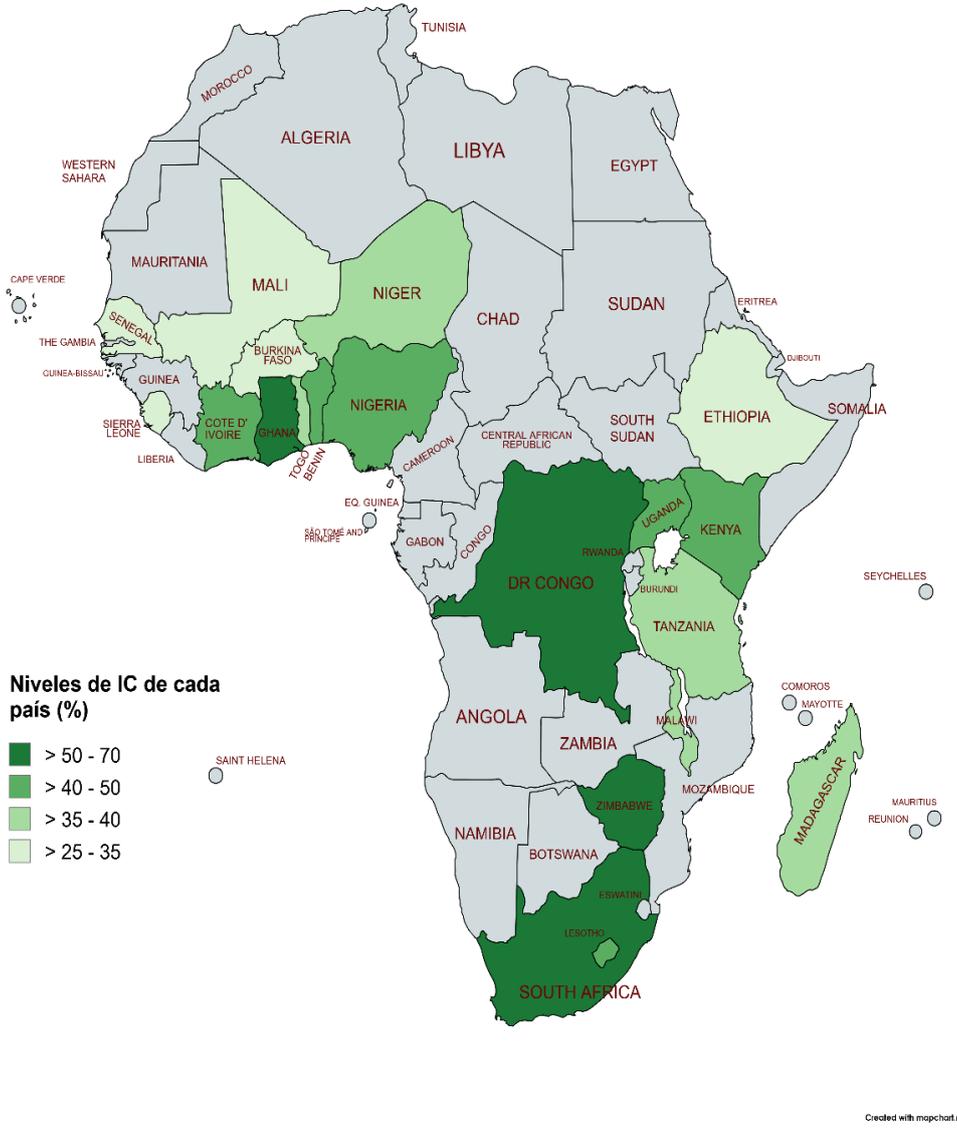
**Mapa 4.2.1. IC de disponibilidad de agua potable y saneamiento calculado a partir del método de normalización “desviación estándar desde la media” y la agregación mediante la media aritmética.**



Created with mapchart.net

*FUENTE: Cálculo propio a partir de UN, (JMP) WHO/UNICEF (2023).*

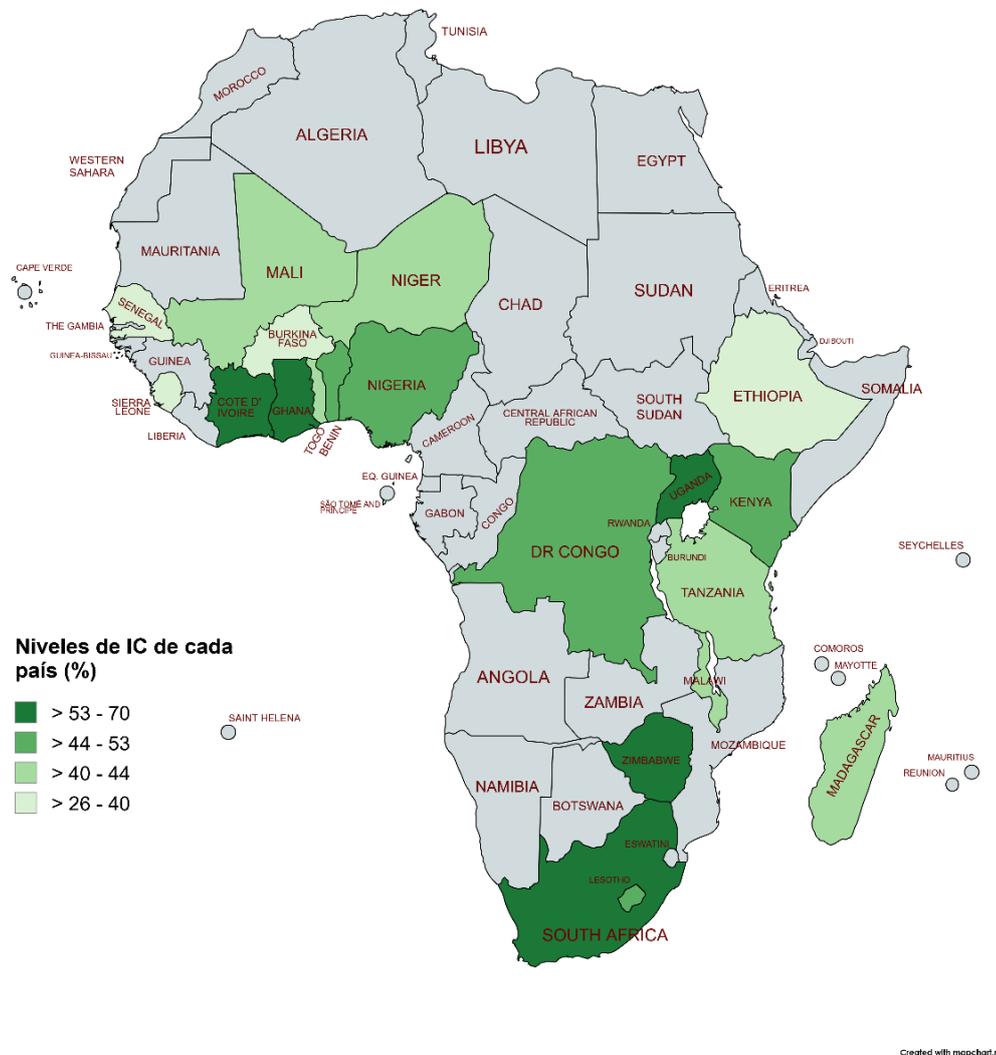
Mapa 4.2.2. IC de disponibilidad de agua potable y saneamiento calculado a partir del método de normalización “distancia desde el líder del grupo” y la agregación mediante la media aritmética.



FUENTE: Cálculo propio a partir de UN, (JMP) WHO/UNICEF (2023).

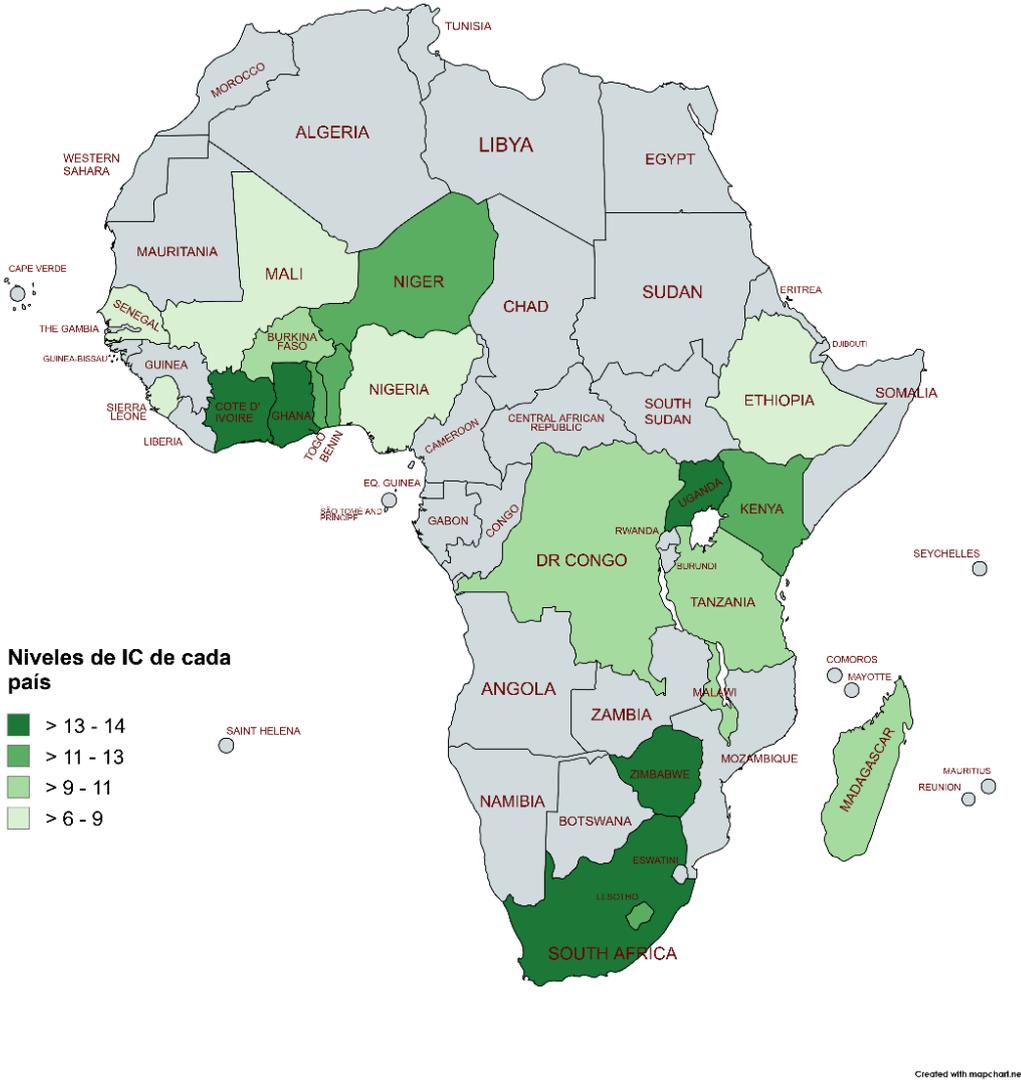
LA DISPONIBILIDAD DE AGUA POTABLE EN LOS PAÍSES DE ÁFRICA SUBSAHARIANA: EVALUACIÓN EMPÍRICA.

**Mapa 4.2.3. IC de disponibilidad de agua potable y saneamiento calculado a partir del método de normalización “distancia desde los mejores y peores resultados” y la agregación mediante la media aritmética.**



FUENTE: Cálculo propio a partir de UN, (JMP) WHO/UNICEF (2023).

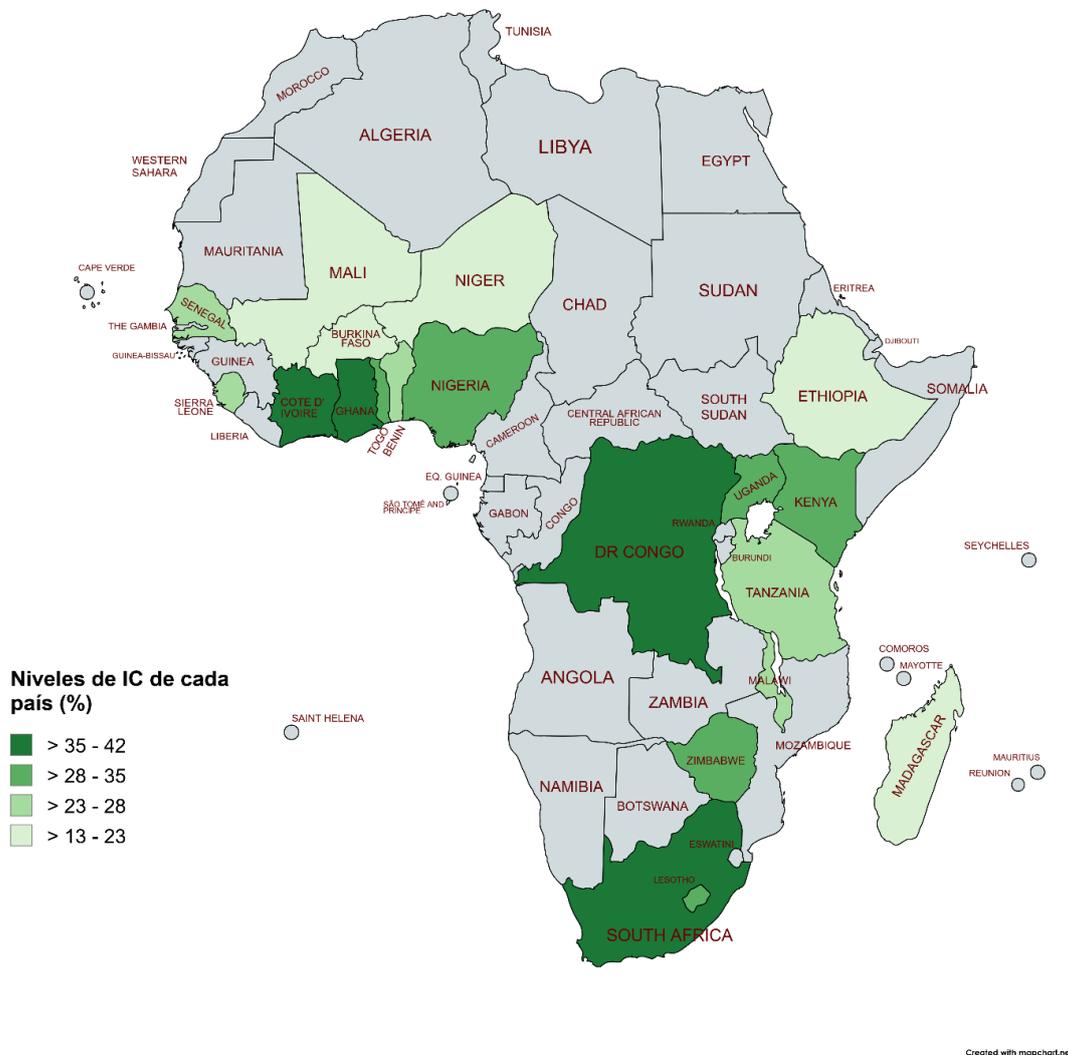
Mapa 4.2.4. IC de disponibilidad de agua potable y saneamiento calculado a partir del método de normalización “escala categórica” y la agregación mediante la media aritmética.



FUENTE: Cálculo propio a partir de UN, (JMP) WHO/UNICEF (2023).

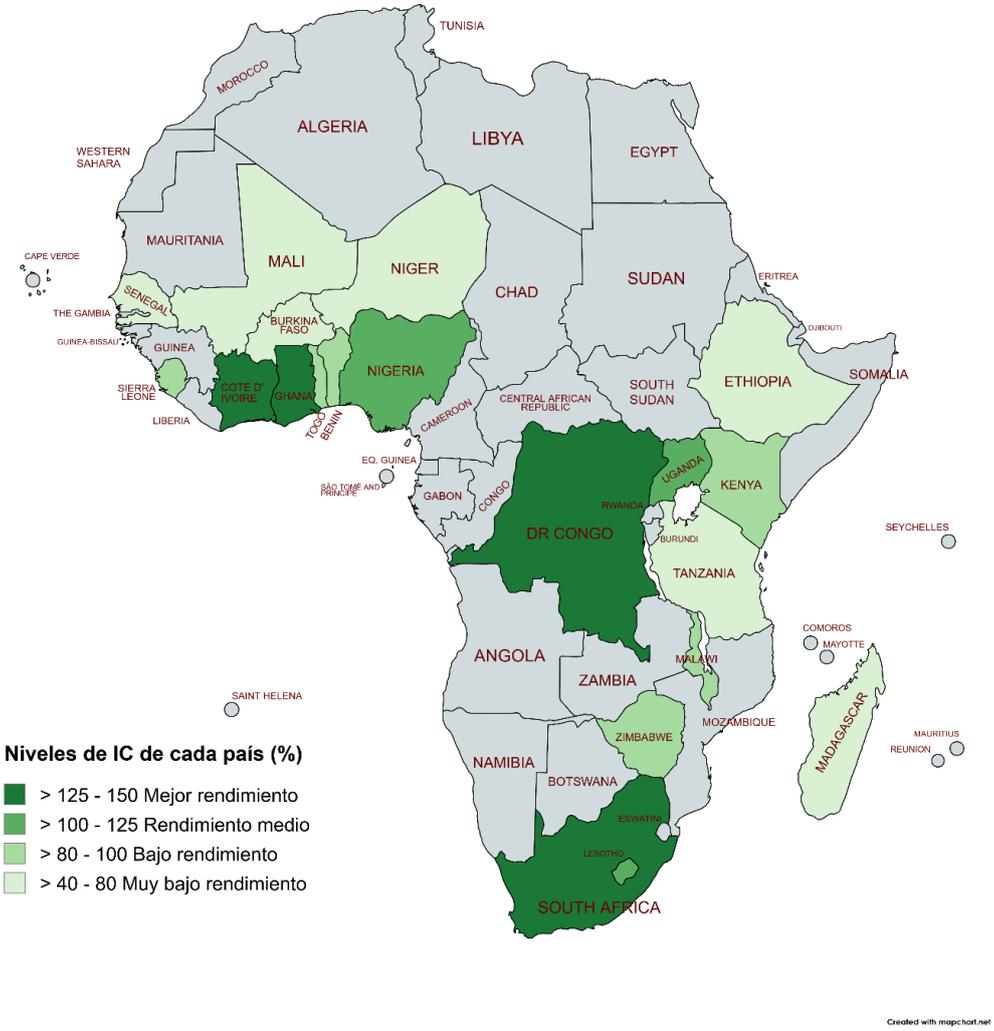
LA DISPONIBILIDAD DE AGUA POTABLE EN LOS PAÍSES DE ÁFRICA SUBSAHARIANA: EVALUACIÓN EMPÍRICA.

**Mapa 4.2.5. IC de disponibilidad de agua potable y saneamiento calculado a partir del método de normalización “distancia desde el líder del grupo” y la agregación mediante la media geométrica.**



FUENTE: Cálculo propio a partir de UN, (JMP) WHO/UNICEF (2023).

Mapa 4.2.6. IC de disponibilidad de agua potable y saneamiento calculado a partir del método de normalización “distancia desde la media” y la agregación mediante la media geométrica.



FUENTE: Cálculo propio a partir de UN, (JMP) WHO/UNICEF (2023).

## 5. CONCLUSIONES.

La disponibilidad de agua dulce, con una calidad apropiada y en una cantidad suficiente, es esencial para todos los aspectos de la vida y el desarrollo sostenible (ONU, 2018). En el caso de África Subsahariana, debido al crecimiento demográfico, el cambio climático y la falta de recursos económicos, los datos relativos a la disponibilidad de agua son sustancialmente peores que los de otras regiones del mundo. Ante la magnitud de esta problemática, resulta de interés poder analizar la información existente, de forma comparativa, entre los países de África Subsahariana, para conocer cuáles están mejor y peor y determinar en qué dimensiones han de mejorar los últimos para acercarse a los primeros.

Este ha sido precisamente el objetivo del presente TFM, a partir del cálculo de 10 IC diferentes, utilizando 5 posibles formas de normalización (desviación estándar desde la media, distancia desde el líder del grupo, distancia desde la media, distancia de los mejores y peores resultados y la escala categórica) y dos posibles formas de agregación (la media aritmética y la media geométrica), para medir la disponibilidad de agua potable y saneamiento. Para ello, se ha utilizado la información de 9 indicadores, disponibles para 20 países de África Subsahariana, en la base de datos de la ONU, (JMP) OMS/UNICEF (2023). El valor de este análisis es poder obtener, a partir de toda la información disponible, IC que sintetizan la situación de cada país y permiten la comparabilidad entre los países de la región.

Los resultados obtenidos llevan a descartar 4 de los IC, debido a que presentan problemas relativos a su cálculo matemático o a ponderar en exceso la existencia de valores muy elevados o muy bajos aisladamente en alguno de los indicadores. Restan, por tanto, 6 IC que se consideran válidos para el análisis. Si se comparan entre ellos, la ordenación de los países y la distancia entre los mismos es bastante estable, sobre todo si se comparan entre sí los 4 IC derivados de la agregación mediante la media aritmética o los 2 derivados de la agregación mediante la media geométrica. En líneas generales, los países con mejores resultados son Sudáfrica, Ghana, Uganda, Costa de Marfil y Lesoto (tanto a partir de la media aritmética como de la media geométrica), RD Congo (a partir de la media geométrica) y Zimbabue (a partir de la media aritmética). Por el contrario, entre los países con peores resultados destacan Etiopía, Burkina Faso, Malí y Senegal (tanto a partir de la media aritmética como de la media geométrica), Sierra Leona y Tanzania (a partir de la media aritmética) y Níger y Madagascar (a partir de la media geométrica). La elección de un IC u otro como el preferible dependerá de qué se pretenda ponderar: por ejemplo, primar o penalizar a los países que muestran un comportamiento regular en el conjunto de los indicadores, valores extraordinariamente altos en alguno de ellos o valores extraordinariamente bajos en otros de ellos. En todo caso, calcular varios IC y compararlos ofrece un valor añadido derivado de contrastar los sesgos que un determinado método de cálculo puede ofrecer, y de ilustrar las diferencias existentes entre ellos.

La principal contribución de este trabajo radica en el análisis comparativo realizado entre países de África Subsahariana, aplicado a evaluar la situación relativa a la disponibilidad de agua potable y saneamiento. Este tipo de análisis puede servir para identificar a

países líderes (los que se encuentran en una situación más favorable dentro de la región) y para hacer un benchmarking (es decir, que otros países puedan emular y acercarse a ellos, identificando en qué dimensiones tienen margen de mejora, y en qué medida). En el análisis realizado en este trabajo, en particular, se ha observado que, para acercarse a los países líderes, los países con peores resultados han de prestar especial atención principalmente a la mejora en dos indicadores: proporción de los flujos de aguas residuales domésticas tratados de manera adecuada (6.3.1) y valor añadido medio del agua usada (6.4.1).

La principal limitación del análisis ha sido la falta de datos disponibles para bastantes países de África Subsahariana y para algunos indicadores. Ello ha llevado a limitar el análisis a 20 países de la región y a 9 de los 11 indicadores disponibles en la base de datos de la ONU, WHO/UNICEF (2023). De cara a futuros trabajos, la disponibilidad de más datos para más países de África Subsahariana podrá dar lugar a la extensión del análisis a más países de la región.

Este trabajo también se podrá replicar con datos más recientes: por ejemplo, a medida que haya más evidencia, el enfoque aplicado en este trabajo se podrá extender a evaluar el progreso y el desempeño final de los países en el cumplimiento de los ODS relativos a disponibilidad de agua potable y saneamiento a lo largo de la década o en periodos posteriores. Asimismo, un enfoque similar al de este trabajo se puede también aplicar a otros temas de relevancia y a otros ODS para los que se disponga de datos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amegah, A. K. (2021). Slum decay in Sub-Saharan Africa: Context, environmental pollution challenges, and impact on dweller's health. *Environmental Epidemiology*, 5(3), e158.
- Alaimo, L. S., & Seri, E. (2023). Measuring human development by means of composite indicators: open issues and new methodological tools. *Quality & Quantity*, 1-33.
- Allen, A. (2003). Environmental planning and management of the peri-urban interface: perspectives on an emerging field. *Environment and urbanization*, 15(1), 135-148.
- Booyesen, F. (2002). An overview and evaluation of composite indices of development. *Social indicators research*, 59, 115-151.
- Brikké, F., & Vairavamoorthy, K. (2016). Managing change to implement integrated urban water management in African cities. *Aquatic Procedia*, 6, 3-14.
- Cardone, R., & Fonseca, C. (2006). Experiences with innovative financing: small town water supply and sanitation service delivery. In *Background paper for UN-HABITAT's " Meeting Development Goals in Small Urban Centers: Water and Sanitation in the World Cities*.
- Casadio Tarabusi, E., & Guarini, G. (2013). An unbalance adjustment method for development indicators. *Social indicators research*, 112, 19-45.
- Dagdeviren, H., & Robertson, S. A. (2011). Access to water in the slums of sub-Saharan Africa. *Development Policy Review*, 29(4), 485-505.
- Damania, R., Desbureaux, S., Rodella, A. S., Russ, J., & Zaveri, E. (2019). *Quality unknown: the invisible water crisis*. World Bank Publications. Disponible en: <<https://documents1.worldbank.org/curated/pt/537481566459193718/pdf/Quality-Unknown-The-Invisible-Water-Crisis.pdf>> (Accessed 16-07-2024).
- Dante Maschio Gastelaars (2019). El Objetivo de Desarrollo Sostenible 6. Revisión y análisis crítico del instrumento de Naciones Unidas para garantizar el Derecho Humano al Agua y el Saneamiento. Disponible en: <<https://esf-cat.org/wp-content/uploads/2020/02/ESFeres25-ODS-A5-web.pdf>> (Accessed 12-06-2024).
- De Muro, P., Mazziotta, M., & Pareto, A. (2011). Composite indices of development and poverty: An application to MDGs. *Social indicators research*, 104, 1-18.
- Dos Santos, S. (2012). L'accès à l'eau en Afrique subsaharienne: la mesure est-elle cohérente avec le risque sanitaire? *Environnement, Risques & Santé*, 11(4), 282-286.

D'Urso, P., Alaimo, L.S., De Giovanni, L. et al. (2022). Well-Being in the Italian Regions Over Time. *Soc Indic Res* 161, 599–627.

El Gibari, S., Gómez, T., & Ruiz, F. (2019). Building composite indicators using multicriteria methods: a review. *Journal of Business Economics*, 89(1), 1-24.

Freudenberg, M. (2003). Composite indicators of country performance: a critical assessment.

Fundación Aquae (2016). Disponible en: <<https://www.fundacionaquae.org/>> (Accessed 12-06-2024).

IPCC (2007). Fourth Assessment Report. Climate Change: impacts, adaptation, and vulnerability: contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Disponible en: <[https://web.archive.org/web/20130312104158/http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg2/en/ch19s19-3-3.html](https://web.archive.org/web/20130312104158/http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/ch19s19-3-3.html)> (Accessed in 30-08-2024).

IPCC (2014). AR5 Climate Change: Impacts, Adapatation, and Vulnerability. Disponible en: <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>> (Accessed 30-08-2024).

Konak, A., Coit, D. W., & Smith, A. E. (2006). Multi-objective optimization using genetic algorithms: A tutorial. *Reliability engineering & system safety*, 91(9), 992-1007.

Kumpel, E., Peletz, R., Bonham, M., & Khush, R. (2016). Assessing drinking water quality and water safety management in Sub-Saharan Africa using regulated monitoring data. *Environmental science & technology*, 50(20), 10869-10876.

Kusangaya, S., Warburton, M. L., Van Garderen, E. A., & Jewitt, G. P. (2014). Impacts of climate change on water resources in southern Africa: A review. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts a/b/c*, 67, 47-54.

Mazziotta, M.; Pareto, A. (2015). Comparing two non-compensatory composite indices to measure changes over time: A case study. *Statistika* 2015, 95, 44-53.

Munda, G., & Nardo, M. (2005). Constructing consistent composite indicators: the issue of weights.

Ndikumana, L., & Pickbourn, L. (2017). The impact of foreign aid allocation on access to social services in sub-Saharan Africa: The case of water and sanitation. *World Development*, 90, 104-114.

OECD (2008). Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide. Disponible en: <<https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264043466-en.pdf?>> (Accessed 20-07-2024).

LA DISPONIBILIDAD DE AGUA POTABLE EN LOS PAÍSES DE ÁFRICA SUBSAHARIANA:  
EVALUACIÓN EMPÍRICA.

Öztürk, E. G., Guimarães, P., & Silva, S. T. (2024). Building a composite index using the multi-objective approach: An application to the case of human development. *Socio-Economic Planning Sciences*, 91, 101756.

Pacific Institute (2021). Water Conflict Chronology. Disponible en: <<http://www.worldwater.org/conflict/map/>> (Accessed 13-06-2024).

PNUD (1999). Informe sobre el Desarrollo Humano. Disponible en: <<https://www.dicc.hegoa.ehu.eus/listar/mostrar/125.html>> (Accessed 22-07-2024).

PNUD (2006). Human Development Report. Beyond scarcity: Power, poverty and the global water crisis. Disponible en: <<https://hdr.undp.org/content/human-development-report-2006>> (Accessed 21-06-2024).

PNUD (2023). Aspectos Metodológicos IDH e IDG Regional de la República Dominicana. Disponible en: <<https://mapa.do.undp.org/methodology>> (Accessed 22-07-2024).

Prakash, R., & Garg, P. (2019). Comparative assessment of HDI with composite development index (CDI). *Insights into Regional Development*, 1(1), 58-76.

Sagar, A. D., & Najam, A. (1998). The human development index: a critical review. *Ecological economics*, 25(3), 249-264.

Talukder, B., W. Hipel, K., & W. vanLoon, G. (2017). Developing composite indicators for agricultural sustainability assessment: Effect of normalization and aggregation techniques. *Resources*, 6(4), 66.

Tate, E. (2012). Social vulnerability indices: a comparative assessment using uncertainty and sensitivity analysis. *Natural Hazards*, 63, 325-347.

UN (2019). Annex II. Classification of SDG regions and income groups. Disponible en: <[https://population.un.org/ProfilesOfAgeing2019/Docs/Annex%20%20-%20Classification%20of%20countries%20by%20region\\_updated%20for%20WPP%202019.pdf](https://population.un.org/ProfilesOfAgeing2019/Docs/Annex%20%20-%20Classification%20of%20countries%20by%20region_updated%20for%20WPP%202019.pdf)> (Accessed 12-06-2024).

UN (2021). SDG Indicators Metadata. Disponible en: <<https://unstats.un.org/sdgs/metadata/>> (Accessed 02-09-2024)

UN, WHO & UNICEF (2023). Department of Economic and Social Affairs. Statistics Division. SDG Indicator database. Disponible en: <<https://unstats.un.org/sdgs/dataportal/database>> (Accessed 21-07-2024).

UN (2024). Department of Economic and Social Affairs. Statistics Division. Disponible en: <<https://unstats.un.org/sdgs/metadata/>> (Accessed 10-07-2024).

UN (2024). Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World Population Prospects 2024*. Disponible en: <<https://population.un.org/wpp/>> (Accessed 03-06-2024).

UN-Habitat (2003). The Challenge of Slums: Global Report on Human Settlements. Disponible en: <<https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/The%20Challenge%20of%20Slums%20-%20Global%20Report%20on%20Human%20Settlements%202003.pdf>> (Accessed 12-06-2024).

UN-Habitat (2004). The challenge of slums: global report on human settlements 2003. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 15(3), 337-338.

UN-Habitat (2014). The State of African Cities. Re-Imagining Sustainable Urban Transitions. Disponible en: <<https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/State%20of%20African%20Cities%202014.pdf>> (Accessed 18-06-2024).

UN-Habitat (2022). United Nations Human Settlements Programme. World Cities Report. Disponible en: <[https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr\\_2022.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr_2022.pdf)> (Accessed 08-06-2024).

UN-Habitat (2023). Millenium Development Goals Indicators. Disponible en: <<https://unstats.un.org/wiki/display/mdgs>> (Accessed 21-06-2024).

UNICEF (2015). Noticias. Día Mundial del Agua. Disponible en: <<https://www.unicef.es/noticia/dia-mundial-del-agua-1000-ninos-mueren-cada-dia-por-falta-de-agua-potable>> (Accessed 14-06-2024).

UNICEF (2022). Comunicados de prensa. Disponible en: <<https://www.unicef.org/es/comunicados-prensa/ninos-afectados-por-sequia-zonas-africa-borde-catastrofe>> (Accessed 21-07-2024).

UN-Water (2018). Informe de Síntesis sobre el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 relacionado con el agua y el saneamiento. Disponible en: <[https://www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2018/05/UN-Water\\_SDG6\\_Synthesis\\_Report\\_2018\\_Executive\\_Summary\\_SPA.pdf](https://www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2018/05/UN-Water_SDG6_Synthesis_Report_2018_Executive_Summary_SPA.pdf)> (Accessed 21-07-2024).

UN-Water (2021). Summary Progress Update 2021 – SDG 6 – water and sanitation for all. Version: July 2021. Geneva, Switzerland. Disponible en: <<https://www.unwater.org/water-facts/water-scarcity>> (Accessed 08-06-2024).

## LA DISPONIBILIDAD DE AGUA POTABLE EN LOS PAÍSES DE ÁFRICA SUBSAHARIANA: EVALUACIÓN EMPÍRICA.

WHO (2020). World health statistics: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals. Disponible en: <<https://www.who.int/publications/i/item/9789240005105>> (Accessed 21-07-2024).

WHO/UNICEF, JMP (2022). Nota orientativa para facilitar la consulta nacional sobre las estimaciones del programa conjunto de monitoreo, con relación al agua para consumo, el saneamiento y la higiene en los hogares. Disponible en: <[file:///C:/Users/usuariouc/Downloads/jmp\\_2022\\_households\\_country\\_consultation\\_es.pdf](file:///C:/Users/usuariouc/Downloads/jmp_2022_households_country_consultation_es.pdf)> (Accessed 28-07-2024).

WHO/UNICEF (2023). Estimates on the use of water, sanitation and hygiene by región. Disponible en: <<https://washdata.org/data/downloads>> y <<https://washdata.org/data/household#!/>> (Accessed 18-07-2024).

Wikipedia (2022). El clima de África. Disponible en: <[https://es.wikipedia.org/wiki/Clima\\_de\\_%C3%81frica#cite\\_note-30](https://es.wikipedia.org/wiki/Clima_de_%C3%81frica#cite_note-30)>. Accessed in (30-08-2024)

(WDI) World Development Indicators (2024). Disponible en: <<https://data.worldbank.org/indicador/SP.URB.TOTL.IN.ZS?end=2022&skipRedirection=true&start=1960&view=chart>> (Accessed 08-06-2024).

World Atlas (2021). *Sub-Saharan Africa*. Disponible en: <<https://www.worldatlas.com/regions/sub-saharan-africa.html>> (Accessed 12-06-2024).

World Waternet (2023). Access to drinking water for informal settlements in Burkina Faso. Disponible en: <<https://www.wereldwaternet.nl/en/latest-news/2023/access-to-drinking-water-for-informal-settlements-in-burkina-faso/>> (Accessed 18-06-2024).

(WWF) World Wildlife Foundation (2015). Water Scarcity. Disponible en: <<https://www.worldwildlife.org/threats/water-scarcity>> (Accessed 03-06-2024).

Zambia tourism (2023). Disponible en: <<https://www.zambiatourism.com/destinations/lakes/lake-tanganyika/>> (Accessed 12-06-2024).

**ANEXOS.****Tabla A.1. Valores resultantes de los cinco métodos de normalización para el indicador “proporción de la población que utiliza servicios de suministro de agua potable gestionados sin riesgos” (6.1.1).**

	Dato inicial	Desviación estándar desde la media	Distancia desde el líder del grupo (Líder=100)	Distancia desde la media (promedio=100)	Distancia desde los mejores y peores resultados (Líder=100, peor=0)	Escala categórica
Sudáfrica	60,35	2,87	100,00	251,15	100,00	20
Costa de Marfil	43,64	1,55	72,32	181,63	67,01	19
Ghana	42,34	1,45	70,16	176,19	64,43	18
Nigeria	27,85	0,30	46,16	115,92	35,83	17
Lesoto	27,52	0,28	45,61	114,54	35,17	16
Benín	27,12	0,24	44,94	112,87	34,38	15
Zimbabue	26,57	0,20	44,04	110,60	33,30	14
Senegal	26,06	0,16	43,19	108,46	32,28	13
Kenya	25,67	0,13	42,54	106,85	31,52	12
Burkina Faso	22,10	-0,15	36,62	91,98	24,46	11
Mali	21,12	-0,23	35,00	87,90	22,53	10
Madagascar	20,76	-0,26	34,41	86,41	21,82	9
Togo	18,84	-0,41	31,22	78,41	18,03	8
Uganda	16,75	-0,58	27,75	69,69	13,89	7
Malawi	16,49	-0,60	27,32	68,61	13,38	6
Níger	13,43	-0,84	22,26	55,89	7,34	5
Etiopía	12,34	-0,92	20,44	51,34	5,18	4
RD Congo	11,19	-1,01	18,54	46,55	2,91	3
Tanzania	10,71	-1,05	17,75	44,57	1,96	2
Sierra Leona	9,71	-1,13	16,10	40,43	0,00	1

*FUENTE: Cálculo propio a partir de UN, (JMP) WHO/UNICEF (2023).*

LA DISPONIBILIDAD DE AGUA POTABLE EN LOS PAÍSES DE ÁFRICA SUBSAHARIANA: EVALUACIÓN EMPÍRICA.

**Tabla A.2. Valores resultantes de los cinco métodos de normalización para el indicador “proporción de la población que utiliza servicios de saneamiento gestionados sin riesgos” (6.2.1.1).**

	Dato inicial	Desviación estándar desde la media	Distancia desde el líder del grupo (Líder=100)	Distancia desde la media (promedio=100)	Distancia desde los mejores y peores resultados (Líder=100, peor=0)	Escala categórica
Sudáfrica	70,27	2,91	100,00	329,26	100,00	20
Lesoto	47,62	1,56	67,77	223,14	66,49	19
Malawi	42,09	1,23	59,90	197,21	58,31	18
Zimbabue	32,38	0,66	46,08	151,73	43,94	17
Kenia	30,87	0,57	43,94	144,66	41,71	16
Nigeria	30,62	0,55	43,57	143,47	41,34	15
Tanzania	24,91	0,21	35,44	116,70	32,88	14
Uganda	17,49	-0,23	24,89	81,96	21,91	13
Costa de Marfil	16,69	-0,28	23,75	78,21	20,73	12
Mali	14,89	-0,38	21,20	69,79	18,07	11
Ghana	14,67	-0,40	20,88	68,76	17,75	10
Sierra Leona	14,00	-0,44	19,92	65,60	16,75	9
Senegal	13,68	-0,46	19,46	64,09	16,27	8
RD Congo	13,08	-0,49	18,61	61,28	15,38	7
Madagascar	11,47	-0,59	16,33	53,76	13,01	6
Burkina Faso	9,16	-0,72	13,04	42,92	9,59	5
Níger	7,60	-0,82	10,82	35,62	7,28	4
Etiopía	6,93	-0,86	9,86	32,45	6,28	3
Togo	5,73	-0,93	8,15	26,84	4,51	2
Benín	2,68	-1,11	3,81	12,56	0,00	1

FUENTE: Cálculo propio a partir de UN, (JMP) WHO/UNICEF (2023).

**Tabla A.3. Valores resultantes de los cinco métodos de normalización para el indicador “proporción de la población con instalaciones básicas para el lavado de manos con agua y jabón en el hogar” (6.2.1.2).**

	Dato inicial	Desviación estándar desde la media	Distancia desde el líder del grupo (Líder=100)	Distancia desde la media (Promedio=100)	Distancia desde los mejores y peores resultados (Líder=100, peor=0)	Escala categórica
Sudáfrica	44,37	1,83	100,00	191,13	100,00	20
Zimbabue	42,43	1,66	95,62	182,76	95,00	19
Ghana	41,54	1,59	93,63	178,95	92,72	18
Kenia	37,50	1,24	84,51	161,52	82,31	17
Nigeria	30,84	0,66	69,51	132,85	65,18	16
Tanzania	28,65	0,47	64,58	123,43	59,56	15
Uganda	28,05	0,42	63,22	120,83	58,01	14
Madagascar	23,52	0,03	53,00	101,30	46,33	13
Níger	23,49	0,02	52,93	101,17	46,26	12
Senegal	22,01	-0,10	49,61	94,82	42,46	11
Costa de Marfil	21,62	-0,14	48,73	93,14	41,46	10
RD Congo	19,17	-0,35	43,21	82,59	35,16	9
Togo	17,15	-0,53	38,65	73,86	29,95	8
Mali	17,03	-0,54	38,37	73,34	29,63	7
Sierra Leona	16,91	-0,55	38,11	72,85	29,34	6
Malawi	15,30	-0,69	34,48	65,90	25,19	5
Benin	12,03	-0,97	27,12	51,83	16,79	4
Burkina Faso	9,01	-1,23	20,30	38,81	9,00	3
Etiopía	8,17	-1,30	18,42	35,20	6,85	2
Lesoto	5,51	-1,53	12,42	23,74	0,00	1

FUENTE: Cálculo propio a partir de UN, (JMP) WHO/UNICEF (2023).

**Tabla A.4. Valores resultantes de los cinco métodos de normalización para el indicador “proporción de flujo de aguas residuales domésticas tratadas de forma adecuada” (6.3.1).**

	Dato inicial	Desviación estándar desde la media	Distancia desde el líder del grupo (Líder=100)	Distancia desde la media (Promedio=100)	Distancia desde los mejores y peores resultados (Líder=100, peor=0)	Escala categórica
Sudáfrica	61,29	3,12	100,00	470,77	100,00	20
Nigeria	48,29	2,28	78,79	370,92	77,96	19
Zimbabue	22,99	0,65	37,51	176,60	35,08	18
Togo	15,04	0,13	24,54	115,50	21,59	17
Costa de Marfil	14,20	0,08	23,17	109,07	20,17	16
Senegal	14,17	0,07	23,11	108,81	20,12	15
RD Congo	12,30	-0,05	20,07	94,47	16,95	14
Ghana	12,13	-0,06	19,78	93,14	16,66	13
Kenia	9,43	-0,23	15,39	72,43	12,09	12
Madagascar	9,33	-0,24	15,22	71,66	11,92	11
Sierra Leona	8,39	-0,30	13,69	64,46	10,33	10
Malawi	6,45	-0,43	10,52	49,52	7,03	9
Tanzania	5,34	-0,50	8,71	41,02	5,15	8
Benín	4,30	-0,56	7,02	33,03	3,39	7
Niger	4,00	-0,58	6,53	30,72	2,88	6
Mali	3,40	-0,62	5,55	26,11	1,86	5
Uganda	2,41	-0,69	3,93	18,51	0,19	4
Etiopía	2,32	-0,69	3,79	17,85	0,04	3
Burkina Faso	2,31	-0,69	3,77	17,74	0,02	2
Lesoto	2,30	-0,69	3,75	17,67	0,00	1

FUENTE: Cálculo propio a partir de UN, (JMP) WHO/UNICEF (2023).

**Tabla A.5. Valores resultantes de los cinco métodos de normalización para el indicador “proporción de masas de agua de buena calidad” (6.3.2).**

	Dato inicial	Desviación estándar desde la media	Distancia desde el líder del grupo (Líder=100)	Distancia desde la media (Promedio=100)	Distancia desde los mejores y peores resultados (Líder=100, peor=0)	Escala categórica
Lesoto	100,00	1,03	100,00	130,94	100,00	20
Togo	100,00	1,03	100,00	130,94	100,00	20
Burkina Faso	97,70	0,93	97,70	127,93	97,37	18
Etiopía	96,77	0,89	96,77	126,71	96,31	17
Uganda	92,67	0,71	92,67	121,35	91,63	16
Madagascar	90,67	0,62	90,67	118,73	89,34	15
Benín	89,42	0,57	89,42	117,09	87,91	14
Kenia	86,52	0,44	86,52	113,29	84,60	13
Tanzania	85,33	0,39	85,33	111,73	83,24	12
Zimbabue	83,33	0,30	83,33	109,12	80,96	11
Ghana	83,00	0,29	83,00	108,68	80,58	10
Costa de Marfil	80,00	0,16	80,00	104,76	77,15	8
Níger	80,00	0,16	80,00	104,76	77,15	9
Malawi	75,25	-0,05	75,25	98,54	71,73	7
Mali	70,00	-0,28	70,00	91,66	65,73	6
RD Congo	66,00	-0,45	66,00	86,42	61,16	5
Sudáfrica	52,11	-1,06	52,11	68,23	45,29	4
Senegal	44,44	-1,39	44,44	58,19	36,53	3
Sierra Leona	41,70	-1,51	41,70	54,60	33,40	2
Nigeria	12,46	-2,79	12,46	16,32	0,00	1

FUENTE: Cálculo propio a partir de UN, (JMP) WHO/UNICEF (2023).

LA DISPONIBILIDAD DE AGUA POTABLE EN LOS PAÍSES DE ÁFRICA SUBSAHARIANA: EVALUACIÓN EMPÍRICA.

**Tabla A.6. Valores resultantes de los cinco métodos de normalización para el indicador “valor añadido medio del agua usada” (6.4.1).**

	Dato inicial	Desviación estándar desde la media	Distancia desde el líder del grupo (Líder=100)	Distancia desde la media (Promedio=100)	Distancia desde los mejores y peores resultados (Líder=100, peor=0)	Escala categórica
RD Congo	50,83	1,95	100,00	265,35	100,00	20
Lesoto	41,67	1,39	81,98	217,53	81,72	19
Benín	40,53	1,32	79,74	211,58	79,44	18
Costa de Marfil	38,55	1,20	75,84	201,24	75,49	17
Uganda	38,23	1,18	75,21	199,57	74,85	16
Ghana	32,71	0,84	64,35	170,76	63,83	15
Nigeria	30,12	0,68	59,26	157,24	58,66	14
Togo	22,75	0,22	44,76	118,76	43,95	13
Sudáfrica	15,51	-0,22	30,51	80,97	29,50	12
Kenia	14,93	-0,26	29,37	77,94	28,34	11
Burkina Faso	13,75	-0,33	27,05	71,78	25,99	10
Sierra Leona	9,36	-0,60	18,41	48,86	17,23	9
Tanzania	8,70	-0,64	17,12	45,42	15,91	8
Senegal	5,63	-0,83	11,08	29,39	9,78	7
Malawi	5,60	-0,84	11,02	29,23	9,72	6
Etiopía	5,35	-0,85	10,53	27,93	9,22	5
Zimbabue	3,45	-0,97	6,79	18,01	5,43	4
Níger	2,76	-1,01	5,43	14,41	4,05	3
Mali	1,96	-1,06	3,86	10,23	2,46	2
Madagascar	0,73	-1,14	1,44	3,81	0,00	1

FUENTE: Cálculo propio a partir de UN, (JMP) WHO/UNICEF (2023).

**Tabla A.7. Valores resultantes de los cinco métodos de normalización para el indicador “nivel de estrés hídrico: extracción de agua dulce en proporción a los recursos de agua dulce disponibles” (6.4.2).**

	Dato inicial	Desviación estándar desde la media	Distancia desde el líder del grupo (Líder=100)	Distancia desde la media (Promedio=100)	Distancia desde los mejores y peores resultados (Líder=100, peor=0)	Escala categórica
RD Congo	0,23	0,86	100,00	6435,43	100,00	20
Sierra Leona	0,50	0,85	46,00	2960,30	99,58	19
Benín	0,98	0,82	23,47	1510,36	98,84	18
Lesoto	2,57	0,72	8,95	575,93	96,39	17
Togo	3,39	0,67	6,78	436,62	95,12	16
Costa de Marfil	5,09	0,57	4,52	290,80	92,50	15
Uganda	5,83	0,53	3,95	253,89	91,36	14
Ghana	6,31	0,50	3,65	234,57	90,62	13
Burkina Faso	7,82	0,41	2,94	189,28	88,29	12
Mali	8,00	0,40	2,88	185,02	88,01	11
Nigeria	9,67	0,30	2,38	153,07	85,43	10
Níger	11,02	0,22	2,09	134,31	83,35	9
Madagascar	11,26	0,21	2,04	131,45	82,98	8
Tanzania	12,96	0,11	1,77	114,21	80,35	7
Senegal	16,28	-0,09	1,41	90,92	75,23	6
Malawi	17,50	-0,16	1,31	84,58	73,35	5
Etiopía	32,26	-1,03	0,71	45,88	50,57	4
Kenia	33,24	-1,09	0,69	44,53	49,06	3
Zimbabue	46,09	-1,85	0,50	32,11	29,23	2
Sudáfrica	65,03	-2,97	0,35	22,76	0,00	1

FUENTE: Cálculo propio a partir de UN, (JMP) WHO/UNICEF (2023).

**Tabla A.8. Valores resultantes de los cinco métodos de normalización para el indicador “grado de implementación de la gestión integrada de los recursos hídricos” (6.5.1).**

	Dato inicial	Desviación estándar desde la media	Distancia desde el líder del grupo (Lider=100)	Distancia desde la media (Promedio=100)	Distancia desde los mejores y peores resultados (Lider=100, peor=0)	Escala categórica
Sudáfrica	71,00	1,69	100,00	139,22	100,00	20
Benín	68,00	1,44	95,77	133,33	92,31	19
Burkina Faso	66,00	1,27	92,96	129,41	87,18	18
Zimbabue	63,00	1,01	88,73	123,53	79,49	17
Uganda	62,00	0,93	87,32	121,57	76,92	16
Kenia	59,00	0,68	83,10	115,69	69,23	15
Ghana	57,00	0,51	80,28	111,76	64,10	14
Malawi	55,00	0,34	77,46	107,84	58,97	13
Tanzania	54,00	0,25	76,06	105,88	56,41	12
Níger	53,00	0,17	74,65	103,92	53,85	11
Mali	52,00	0,08	73,24	101,96	51,28	10
Senegal	50,00	-0,08	70,42	98,04	46,15	9
Lesoto	45,00	-0,51	63,38	88,24	33,33	8
Nigeria	44,00	-0,59	61,97	86,27	30,77	7
Etiopía	41,00	-0,85	57,75	80,39	23,08	6
Costa de Marfil	40,00	-0,93	56,34	78,43	20,51	5
Madagascar	38,00	-1,10	53,52	74,51	15,38	4
Sierra Leona	36,00	-1,27	50,70	70,59	10,26	3
Togo	34,00	-1,44	47,89	66,67	5,13	2
RD Congo	32,00	-1,61	45,07	62,75	0,00	1

FUENTE: Cálculo propio a partir de UN, (JMP) WHO/UNICEF (2023).

**Tabla A.9. Valores resultantes de los cinco métodos de normalización para el indicador “cambio en la extensión de los ecosistemas relacionados con el agua con el paso del tiempo” (6.6.1).**

	Dato inicial	Desviación estándar desde la media	Distancia desde el líder del grupo (Lider=100)	Distancia desde la media (Promedio=100)	Distancia desde los mejores y peores resultados (Lider=100, peor=0)	Escala categórica
Níger	7	1,57	100,00	329,90	100,00	20
Madagascar	8	1,47	87,50	288,66	97,14	19
Mali	11	1,18	63,64	209,94	88,57	18
Zimbabue	12	1,08	58,33	192,44	85,71	17
Malawi	15	0,79	46,67	153,95	77,14	16
Uganda	17	0,59	41,18	135,84	71,43	15
RD Congo	18	0,50	38,89	128,29	68,57	14
Costa de Marfil	20	0,30	35,00	115,47	62,86	12
Lesoto	21	0,20	33,33	109,97	60,00	13
Sierra Leona	22	0,11	31,82	104,97	57,14	10
Togo	22	0,11	31,82	104,97	57,14	11
Kenia	23	0,02	30,62	101,02	54,69	9
Senegal	26	-0,28	26,92	88,82	45,71	7
Sudáfrica	27	-0,38	25,93	85,53	42,86	8
Etiopía	29	-0,57	24,14	79,63	37,14	6
Ghana	30	-0,67	23,33	76,98	34,29	5
Tanzania	33	-0,96	21,21	69,98	25,71	4
Nigeria	38	-1,45	18,42	60,77	11,43	3
Benín	41	-1,74	17,07	56,32	2,86	2
Burkina Faso	42	-1,84	16,67	54,98	0,00	1

FUENTE: Cálculo propio a partir de UN, (JMP) WHO/UNICEF (2023).