

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

Unidad de Posgrado de Ingeniería y Arquitectura



Aplicación del análisis de componentes principales para la estimación de un índice de economía circular en América Latina y el Caribe

Tesis para obtener el Título de Segunda Especialidad Profesional de Ingeniería y Arquitectura: Estadística Aplicada para Investigación

Autor:

Sebastian Rolando Ayala Beas

Asesor:

Mg. Nemias Saboya Ríos

Lima, noviembre de 2023

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Nemias Saboya Ríos, docente de la Unidad de Posgrado de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Posgrado de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES PARA LA ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE DE ECONOMÍA CIRCULAR EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE”** del autor Sebastian Rolando Ayala Beas tiene un índice de similitud de 9% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 29 días del mes de noviembre del año 2023.



Nemias Saboya Ríos

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa unión a 30 días del mes de noviembre del año 2023, siendo las 16:00 horas, se reunieron de forma online sincrónica, bajo la dirección del presidente del jurado Mg. Lizeth Geanina Huanca López, el secretario PhD. Javier Linkolk López Gonzales; los demás miembros: Mg. Cristian Eduardo Garcia Bermudez, el Mg. Jose Luis Cabrera Vega y el asesor Mg. Nemias Saboya Rios con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de Tesis de la Segunda Especialidad titulada "Aplicación del análisis de componentes principales para la estimación de un índice de economía circular en América Latina y el Caribe", conducente a la obtención del Título de Segunda Especialidad Profesional de Ingeniería y Arquitectura: Estadística Aplicada para Investigación.

El presidente inició el acto académico de sustentación invitando al candidato a hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, cuestionamientos y aclaraciones pertinentes, los cuales fueron absueltos por el candidato. Luego se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictaminador del Jurado. Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato: Sebastian Rolando Ayala Beas

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	18	A-	Muy bueno	Sobresaliente

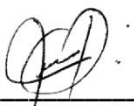
Finalmente, el presidente del jurado invitó al candidato a ponerse de pie, para recibir la evaluación final. Además, el presidente del jurado concluyó el acto académico de sustentación, procediéndose a registrar a registrar las firmas respectivas.



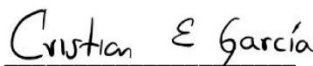
Presidente



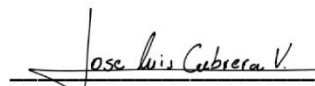
Secretario



Asesor(a)



Miembro



Miembro



Candidato(a)

Índice

Resumen	2
1. Introducción	3
2. Metodología	5
2.1. Recolección de datos	5
2.2. Análisis de componentes principales (ACP)	7
2.3. Construcción del Índice de Economía Circular (IEC)	8
3. Resultados y discusión	9
3.1. Resultados del ACP	9
3.2. Índice de Economía Circular (IEC)	12
3.3. Índice por dimensiones de la economía circular	15
4. Conclusiones	16
5. Referencias	16
Anexos	22

Aplicación del Análisis de Componentes Principales para la estimación de un Índice de Economía Circular en América Latina y el Caribe

Resumen

Mediante la aplicación del Análisis de Componentes Principales, el objetivo de la investigación es analizar las relaciones entre las dimensiones e indicadores que conforman la economía circular, en el contexto de los países de América Latina y el Caribe. Empleando información de 16 variables agrupados en 4 dimensiones, para una muestra de 20 países se logró estimar un Índice de Economía Circular. Los resultados muestran que Uruguay es el país mejor ubicado, es decir ha logrado un mayor desarrollo en la transición a un modelo de economía circular. Por el contrario, Trinidad y Tobago ocupa el último lugar de los 20 países analizados. También se estimó un índice por dimensiones de la economía circular: en la Dimensión 1 Producción de Recursos y la Dimensión 2 Consumo de Recursos, Panamá registra un mejor desempeño; en la Dimensión 3 Utilización Integrada de Recursos, Uruguay lidera el ranking; y finalmente, en la Dimensión 4 Eliminación de Residuos/Emisiones Contaminantes, Bolivia es el país mejor ubicado. Los hallazgos tienen importantes implicancias para orientar la implementación de políticas que promuevan la transición a un modelo de economía circular en la región.

Palabras clave: Economía circular, análisis de componentes principales, América Latina y el Caribe, estadística multivariante, índice

1. Introducción

En el actual sistema económico global, la mitad de la producción mundial depende de forma moderada o alta de la naturaleza y sus servicios (United Nations Environment Programme, 2023). Este escenario genera un elevado deterioro del medio ambiente, pues la extracción y el procesamiento de recursos naturales constituyen aproximadamente el 50% del total de emisiones de gases de efecto invernadero (IRP, 2019). Como consecuencia, entre 1960 y 2020 el cambio climático ha generado un costo sobre el bienestar global equivalente a una reducción permanente del consumo en 1960 del 6.2%, en comparación a un escenario sin cambio climático (Dietz & Lanz, 2022). Además entre los años 1970-2018 las poblaciones de especies animales de todo el planeta muestra un descenso medio del 69% (WWF, 2022).

Así pues, este panorama pone en evidencia la necesidad de implementar cambios en sistema económico actual. Además, parte del proceso de desarrollo económico implica también una mayor preocupación por el medio ambiente, pues las sociedades con mayores ingresos priorizan la implementación de regulaciones y políticas públicas de protección ambiental (Jayachandran, 2022). En este mismo sentido, una de las estrategias más recientes para integrar la actividad económica y el bienestar ambiental es la economía circular (EC) (Geissdoerfer et al., 2017; Murray et al., 2017). Las regiones que más avances registran en esta estrategia son China (Yon Geng & Doberstain, 2008) y Europa (Domenech & Bahn-Walkowiak, 2017), aunque con distintos enfoques de políticas en su implementación (McDowall et al., 2017).

La literatura sobre EC remonta sus orígenes a la década de 1970 (Reike et al., 2018). Desde entonces se han generado avances, acelerándose durante los últimos años con un mayor progreso en el campo teórico, pero menor en el ámbito práctico (Dominko et al., 2023). No obstante estos avances y la gran variedad de definiciones de EC, actualmente aún no hay una teoría claramente establecida en esta materia (Yañez, 2021). En este sentido, es un concepto bastante amplio y con limitaciones (Korhonen et al., 2018) que puede ser definido como aquel sistema económico basado en modelos de negocio que sustituyen el concepto de fin de vida por reducir, o bien reutilizar, reciclar y recuperar materiales en los procesos de producción/distribución y consumo; con el objetivo de lograr un desarrollo sostenible (Kirchherr et al., 2017).

En el ámbito de América Latina y el Caribe (ALC), la EC también ha cobrado importancia como una alternativa que favorece el desarrollo sostenible (Clayson Cosme, 2022; Coalición de Economía Circular para América Latina y el Caribe, 2022). La transición a la EC en ALC ya registra iniciativas y avances en los sectores como la construcción, la agroalimentación, la minería y la industria automotriz (Hoof et al., 2023). Además, la adopción de la EC también tiene el potencial de generar 4.8 millones de empleos al 2030 en la región (CEPAL & OIT, 2018). En este proceso resulta importante tener un enfoque de transición justa (OECD et al., 2022; Samaniego et al., 2022) y que la EC no profundice las desigualdades presentes en la región, causadas por el modelo económico lineal predominante en ALC (Schröder et al., 2020).

Respecto a la investigación en EC, esta actividad también se ha ido incrementado (Merli et al., 2018). Los estudios relacionados a la EC son producidos por organizaciones

científicas ubicadas principalmente en China y la Unión Europea (Martinho, 2021). Igualmente, en ALC el interés por la investigación en EC sigue una tendencia creciente, siendo Brasil y México los países que concentran el 54% de las publicaciones en esta materia (Ospina-Mateus et al., 2023). No obstante, Betancourt, et al (2020) luego de una revisión sistemática de la literatura latinoamericana sobre EC, concluyen que resulta pertinente que los investigadores ajusten el concepto de EC para ALC, debido a las amplias diferencias culturales y económicas con Europa. En esta misma línea, Chafla, et al (2021) resaltan la necesidad del reforzamiento y consolidación del entendimiento de la EC desde una visión latinoamericana.

Asimismo, tal como indica Henríquez-Aravena et al (2021), a nivel de ALC hasta la fecha, y de la revisión realizada, no se encuentran trabajos públicamente disponibles que realicen una medición común para todos los países de la región en materia de EC; los estudios realizados son parciales en algunos países; los estudios a nivel internacional son descontextualizados a la realidad de ALC; y por último, las investigaciones desarrolladas no entregan información específica para ALC, ya que las publicaciones están centradas en Europa y otras regiones del mundo. Incluso, de los escasos estudios realizados en ALC sobre EC, la mayoría están relacionados con la gestión de residuos o la investigación en energías renovables (Salas et al., 2021).

De esta manera, es relevante la necesidad de analizar esta transición hacia la EC, identificar posibles relaciones entre países y aspectos de la EC en los que se ha logrado un mayor desarrollo, y contribuir al análisis cuantitativo para una mejor comprensión objetiva bajo el contexto específico de ALC. En particular, abordar el estudio de la transición de los países de ALC hacia la EC a través de la aplicación del análisis estadístico multivariante puede permitir proponer un índice compuesto (Abeyasekera, 2005), aspecto importante en el estudio de la EC, pues la generación de indicadores permite la medición, evaluación y pueden considerarse como facilitadores en la transición a la EC (Saidani et al., 2019).

En este sentido, en años recientes se ha incrementado el interés por el diseño de indicadores para medir la implementación de la EC en el ámbito micro, meso y macro (De Pascale et al., 2021). Por ejemplo, en un estudio que involucró a 25 Estados europeos, Androniceanu et al (2021) analizan la EC y su evolución desde tres perspectivas: desarrollo sostenible, medio ambiente y crecimiento económico. Aplicando el ACP, obtienen 3 factores que explican el 70.06 % de la variación total de 13 indicadores. Identifican a Alemania, Austria, Holanda y los países nórdicos como los Estados con mejor aplicación de la EC en la Unión Europea. Por su parte, de Oliveira Frascareli et al (2023), construyen un índice de economía circular a nivel macro para una muestra de 18 países europeos, identificando a Alemania, Austria, Estonia, Letonia y Suecia como los mejores ubicados. Por su parte, Yang, et al (2011) emplean el ACP para establecer un índice agregado para evaluar el desarrollo de la EC en la región occidental de China. Del mismo modo, Avdiushchenko y Zajac (2019) también aplican el ACP y proponen un índice para medir el progreso en la transición a la EC en regiones europeas.

Así, esta investigación busca analizar cuantitativamente los avances y desafíos de los países para promover una mayor inserción a un modelo de EC, abarcando este concepto desde una perspectiva macro, integral y particular para ALC, modelo que se plantea como

una alternativa viable para mejorar el bienestar general en la región. Se busca, además, contribuir al desarrollo de investigaciones en EC centradas al ámbito de países de ALC, a través de la aplicación de las técnicas de la estadística multivariante, mejorar los datos disponibles y su análisis; requeridos por la transición hacia un modelo de EC (Mulder & Albaladejo, 2020). Asimismo, las prácticas de EC son relevantes para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Zottele Allende & Nájera Jiménez, 2022), particularmente con las metas del ODS 6 (Agua limpia y saneamiento), ODS 7 (Energía limpia y asequible), ODS 8 (Trabajo decente y crecimiento económico), ODS 12 (Producción y consumo responsables) y ODS 15 (Vida en la Tierra) (Schroeder et al., 2019).

2. Metodología

La presente investigación es de diseño no experimental y transversal. Según su alcance es exploratoria y descriptiva (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018) debido a que se busca analizar características importantes de la economía circular en los países ALC. Para el análisis estadístico se emplea el software RStudio y el lenguaje de programación R. En la Figura 1 se ilustra la secuencia metodológica empleada, y a continuación, se precisan otros aspectos metodológicos relevantes.

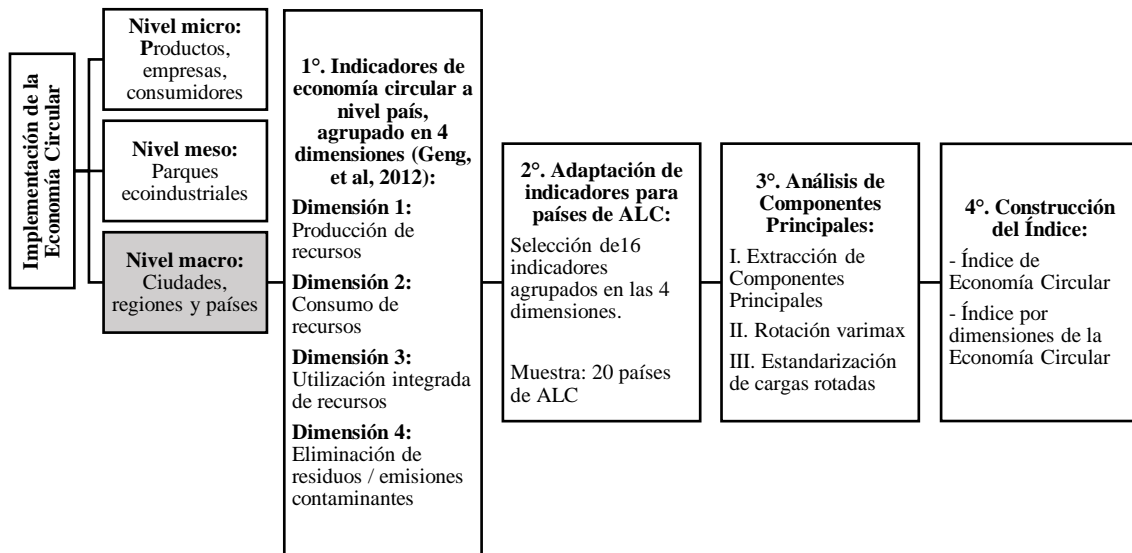


Fig. 1 Secuencia metodológica de la investigación

2.1. Recolección de datos

La implementación de la EC puede ser analizada en el nivel micro (productos, empresas, consumidores), nivel meso (parques eco-industriales) y nivel macro (ciudad, región, país y más allá) (Kirchherr et al., 2017). Asimismo, a nivel internacional existen múltiples investigaciones que han planteado indicadores para la economía circular. Por ejemplo, Sánchez-Ortiz, et al (2020) realizan una revisión bibliográfica de informes oficiales y diferentes trabajos de alto impacto, donde se verifica que las propuestas de indicadores de economía circular se han orientado principalmente a los niveles micro y meso. En esta investigación nos centraremos en indicadores de la EC a nivel macro, es decir a nivel de

países. En este sentido, Geng, et al (2012) identifican a China como el primer país en lanzar indicadores de EC a nivel nacional para evaluar objetivamente la implementación de la EC en este país asiático; y realizando un análisis crítico de este sistema de medición identifica 22 indicadores agrupados en cuatro categorías, los mismos que son la referencia para ser aplicados al ámbito de los países de ALC, teniendo que ser adaptados y reducido a 16 indicadores debido a la limitada disponibilidad de información sobre la EC en esta región.

La muestra está conformada por 20 países seleccionados en base a la disponibilidad de los indicadores, priorizando la mayor cobertura de países de ALC. Los datos para el análisis estadístico provienen de fuentes secundarias que son de acceso público. Fueron recolectados de las series estadísticas disponibles en las páginas web de reconocidas instituciones empleando trabajo de gabinete, según el siguiente detalle: X1, X2, X3, X7, X8, X9, X15 y X16 del Banco Mundial (n.d.-a), X4 de la CEPAL (n.d.-a), X5 del Foro Económico Mundial (World Economic Forum, 2019), X6 de Our World in Data (Our World in Data, n.d.), X10 de la CEPAL (n.d.-b), X11 de la York University Ecological Footprint Initiative & Global Footprint Network (2022), X12 del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, n.d.), X13 del Banco Mundial (n.d.-b) y X14 del YCELP - Yale University & CIESIN - Columbia University (2020).

Tabla 1 Dimensiones e indicadores de la Economía Circular para países de ALC

Dimensión / Definición	Indicador / Unidad de medida	Año / Orientación del impacto a la EC
<p>Producción de recursos:</p> <p>Se refiere a la cantidad de PBI que se produce a partir del consumo de recursos</p>	<p>X1: Rentas totales de los recursos naturales (% del PBI)</p> <p>X2: PBI per cápita (US\$ a precios constantes de 2010)</p>	<p>X1: 2019 / Negativo</p> <p>X2: 2019 / Positivo</p>
<p>Consumo de recursos:</p> <p>Se refieren a la cantidad de recursos consumido en un producto por unidad o por un nivel de PBI</p>	<p>X3: Intensidad energética medida en términos de energía primaria y PBI (MJ/\$2017 PPA PBI)</p> <p>X4: Uso eficiente de los recursos hídricos (en dólares estadounidenses por metro cúbico)</p> <p>X5: Índice de transición energética</p> <p>X6: Consumo de energía primaria per cápita (kWh/persona)</p>	<p>X3: 2019 / Negativo</p> <p>X4: 2019 / Positivo</p> <p>X5: 2019 / Positivo</p> <p>X6: 2019 / Negativo</p>
<p>Utilización integrada de los recursos:</p> <p>Refleja el nivel de reciclaje de materiales. También refleja las perspectivas de desmaterialización de un sistema económico</p>	<p>X7: N° de artículos en publicaciones científicas y técnicas por cada millón de habitantes ^a</p> <p>X8: Ahorros reajustados: Agotamiento de los recursos naturales (% del INB)</p> <p>X9: Consumo de energía renovable (% del consumo total de energía final)</p> <p>X10: Empresas con certificación ISO 14001 (Número de empresas por millón de habitantes) ^a</p> <p>X11: Huella ecológica</p> <p>X12: Índice de desarrollo humano</p>	<p>X7: 2018 / Positivo</p> <p>X8: 2019 / Negativo</p> <p>X9: 2019 / Positivo</p> <p>X10: 2019 / Positivo</p> <p>X11: 2018 / Negativo</p> <p>X12: 2019 / Positivo</p>
<p>Eliminación de residuos / emisiones contaminantes:</p> <p>Se refieren a la cantidad total de eliminación de residuos y a las cantidades de emisión de contaminantes clave</p>	<p>X13: Generación de residuos sólidos municipales per cápita (toneladas / año)</p> <p>X14: Índice de desempeño ambiental</p> <p>X15: Densidad de población (personas por kilómetro)</p> <p>X16: Emisiones de CO2 (toneladas métricas per cápita)</p>	<p>X13: Datos más reciente del 2010 – 2020 / Negativo</p> <p>X14: 2020 / Positivo</p> <p>X15: 2019 / Negativo</p> <p>X16: 2019 / Negativo</p>

Fuente: Adaptación en base al Sistema de indicadores de evaluación de EC para el nivel macro (Yong Geng et al., 2012)

^a Las variables X7 y X10, los indicadores originales están transformados para ser expresados por cada millón de habitantes y fueron estimados empleando información de población total según el Banco Mundial.

2.2. Análisis de componentes principales (ACP)

El ACP es, en muchos sentidos, la base del análisis de datos multivariados (Wold et al., 1987). Se emplea con el objetivo de reducir un gran número de variables correlacionadas a un conjunto más pequeño de dimensiones (Backhaus et al., 2021). Esto se logra transformando las variables iniciales a un nuevo conjunto de variables, las componentes principales (CP), que no están correlacionados y que son ordenados de modo que los primeros contienen una mayor parte de la variación presente en todas las variables iniciales (Jolliffe, 2002). Esto permite trabajar con una menor cantidad de variables que representen el mismo problema analizado, minimizando la pérdida de información que

conlleva el no utilizar todas las variables originales (Aldás & Uriel, 2017). De esta manera, es considerada como una técnica que puede ser útil para comprender mejor las interrelaciones entre las variables (Afifi et al., 2020).

En este sentido, mediante la aplicación del ACP esta investigación busca identificar y definir relaciones entre los diferentes indicadores de la EC basadas en las correlaciones existentes entre las mismas y su dispersión. Además, el ACP permite evaluar visualmente las similitudes y diferencias entre variables e individuos (Abdi & Williams, 2010; Ringnér, 2008), a través de la generación de gráficos en dos o tres dimensiones (Kherif & Latypova, 2019) que facilitan el análisis comparativo entre países de ALC. Sobre la base de identificar el número de CP a retener, esta técnica también es empleada en la construcción de índices compuestos.

2.3. Construcción del Índice de Economía Circular (IEC)

Como resultado del ACP realizado, se determina el número de CP a retener y se procede a la rotación de componentes. La rotación varimax es el método más popular y logra que cada variable original tienda a asociarse con uno (o un pequeño número) de los componentes, y que cada componente represente solo un pequeño número de variables (Abdi & Williams, 2010). Las cargas obtenidas después de la rotación varimax, son empleados para determinar el peso de cada variable y posterior construcción del índice. De este modo, estos pesos serán estandarizados siguiendo la metodología desarrollada por Nardo et al (2008).

Asimismo, para el cálculo del IEC, cada variable es categorizada como uno con un impacto positivo o negativo en el índice (ver Tabla 1). Así, tenemos que las variables con impacto positivo, los valores se transforman aplicando la Ecuación 1 (Avdiushchenko & Zajaç, 2019):

$$Y_{ij} = \frac{A_{ij} - \min(A_i)}{\max(A_i) - \min(A_i)} \quad (1)$$

Y para las variables con impacto negativo, los valores se transforman aplicando la Ecuación 2:

$$Y_{ij} = \frac{\max(A_i) - A_{ij}}{\max(A_i) - \min(A_i)} \quad (2)$$

Donde Y_{ij} es el valor normalizado de la variable i del país j y A es el valor original de la variable.

De acuerdo a los pesos obtenidos por cada variable, se realiza una sumatoria para determinar el nivel de desarrollo de economía circular en los países que conforman la muestra de estudio. De este modo, para determinar el IEC por país se emplea la Ecuación 3 (Guo et al., 2017):

$$IEC_j = \sum_i^n Y_{ij} * W_i \quad (3)$$

Donde, *IEC* es el Índice de Economía Circular en el país *j*, *Y_{ij}* representa el valor normalizado de la variable *i* en el país *j*; *W_i* es el peso de la variable *i*; y *n* es el número de variables. El IEC obtenido tendrá valores entre 0 (menor desarrollo de la EC) a 1 (mayor desarrollo de la EC).

3. Resultados y discusión

3.1. Resultados del ACP

Como paso previo a la aplicación del ACP, debido a que los datos están expresados en diferentes unidades de medida que podría hacer que una variable sea extremadamente importante o nada importante; es necesario escalar o estandarizar los datos (Geladi & Linderholm, 2020). En este sentido, con el objetivo de que las variables sean comparables, se escalan para tener desviación estándar igual a uno y media cero, en base a la Ecuación 4 (Kassambara, 2017):

$$\frac{X_i - media(X)}{ds(X)} \quad (4)$$

Donde *media(X)* es el promedio de los valores de la variable *X*, y *ds(X)* es la desviación estándar de *X*.

De esta manera se procede a desarrollar el ACP. En la Tabla 2, se presenta los valores propios que miden la variación retenida por cada componente y se encuentran ordenadas de acuerdo a su importancia determinada según la varianza total explicada por este factor (Abdi & Williams, 2010). Por ejemplo, la inercia de la primer componente es igual a 7.3963 y esto corresponde al 46.227% de la varianza total, mientras que la segunda componente retiene el 26.92 % de la varianza total de las variables originales. Además, como se aprecia, el ACP genera tantas componentes como el número de variables involucradas (en el presente caso son 16), por lo que corresponde decidir la cantidad de componentes principales a extraer para facilitar la interpretación y construcción del índice compuesto de EC.

En general, la teoría estadística propone algunos criterios para decidir cuantas componentes extraer (Aldás & Uriel, 2017). Además, se espera que los ejes con los valores propios más grandes describan tendencias en los datos, mientras que los ejes con valores propios más pequeños simplemente representan una variación aleatoria (Syms, 2018). Al igual que en el estudio previo para el contexto europeo (Androniceanu et al., 2021), en la presente investigación empleamos el criterio de Guttman-Kaiser que consiste en tomar el número de componentes con valores propios mayores que la unidad (Yeomans & Golder, 1982). De esta manera se extraen las cuatro primeras CP (ver la segunda columna de la Tabla 1) que acumulan el 87.59% de la varianza total, la cual es superior al 60% considerado como satisfactorio para estudios en el ámbito de las ciencias sociales (Hair Jr et al., 2019).

Tabla 2 Valores propios y porcentaje de varianza explicada por cada Componente

Componente	Valor propio	Varianza (%)	Varianza acumulada (%)
Comp. 1	7.3963	46.227	46.227
Comp. 2	4.3072	26.92	73.147
Comp. 3	1.3005	8.128	81.2751
Comp. 4	1.0106	6.3165	87.5916
Comp. 5	0.7937	4.9604	92.5519
Comp. 6	0.3595	2.2468	94.7987
Comp. 7	0.2263	1.4146	96.2133
Comp. 8	0.1723	1.0769	97.2902
Comp. 9	0.1593	0.9958	98.286
Comp. 10	0.1265	0.7908	99.0768
Comp. 11	0.0907	0.5667	99.6434
Comp. 12	0.031	0.194	99.8375
Comp. 13	0.0112	0.0697	99.9072
Comp. 14	0.0101	0.0632	99.9704
Comp. 15	0.0044	0.0275	99.998
Comp. 16	3.00E-04	0.002	100

Otro resultado relevante es el análisis de las cargas, es decir de la correlación entre las variables y las componentes (Abdi & Williams, 2010). En la Figura 2 se presenta las cargas entre las variables y la CP 1 y CP 2, así como las correlaciones entre las variables (Kassambara, 2017): las variables correlacionadas positivamente se agrupan; las variables que tienen correlación negativa se ubican en lados contrarios del origen del gráfico (cuadrantes opuestos); y la distancia entre las variables y el origen mide la contribución de las variables en el mapa de componentes (las variables alejadas del origen están mejor representadas). De este modo, se observa una alta correlación positiva entre las emisiones de CO₂ (X16), la huella ecológica (X11), el consumo de energía primaria (X6) y el agotamiento de recursos naturales (X8); y a su vez todas estas variables están correlacionadas negativamente con el consumo de energía renovable (X9). Otras variables correlacionadas positivamente son el índice de transición energética (X5), el número de empresas con certificación ISO 14001 (X10) y el número de publicaciones científicas (X7); las mismas que tienen una correlación negativa con la variable densidad de población (X15). Finalmente, un tercer grupo de variables correlacionadas son el índice de desarrollo humano (X12), el índice de desempeño ambiental (X14) y el PBI per cápita (X2).

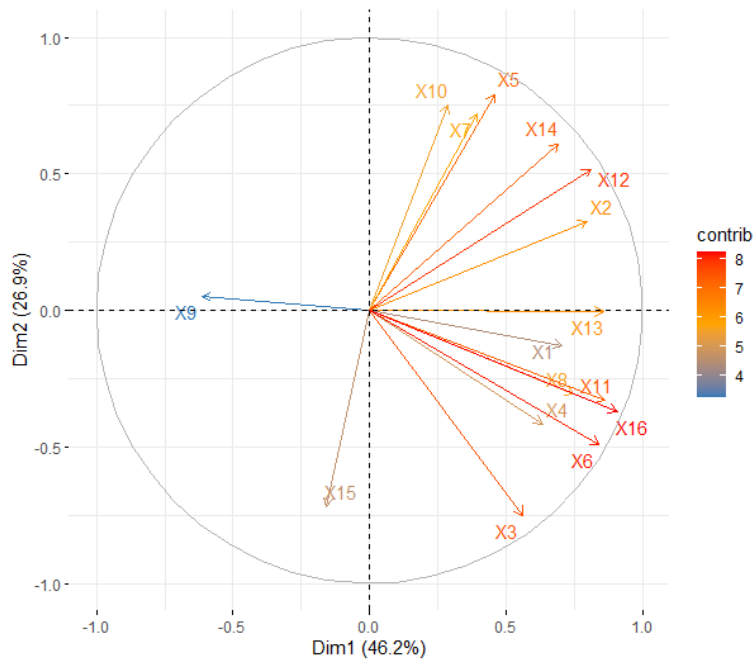


Fig. 2 Círculo de correlación y cargas de las variables

El análisis anterior, también puede ser complementado con un gráfico que combine a variables e individuos (en nuestro caso países). En la Figura 3 se aprecia la representación conjunta de variables y países sobre la CP1 y CP2. En general, esta figura se puede interpretar de la siguiente manera (Kassambara, 2017): un país que está del mismo lado de una determinada variable tiene un valor alto para esta variable, y en caso éste se encuentre en el lado opuesto de una determinada variable tiene un valor bajo para esta variable. Los países como Uruguay, Chile, Colombia y Argentina muestran mayores valores en el índice de transición energética (X5), número de empresas con certificación ISO 14001 (X10), número de publicaciones científicas (X7), índice de desarrollo humano (X12), índice de desempeño ambiental (X14) y el PBI per cápita (X2). Los países que se encuentran en una situación contraria son Haití, Guatemala, Honduras, Nicaragua y El Salvador. Un caso particular es el de Trinidad y Tobago, pues se verifica elevados niveles de emisiones de CO2 (X16), huella ecológica (X11), consumo de energía primaria (X6) y agotamiento de recursos naturales (X8).

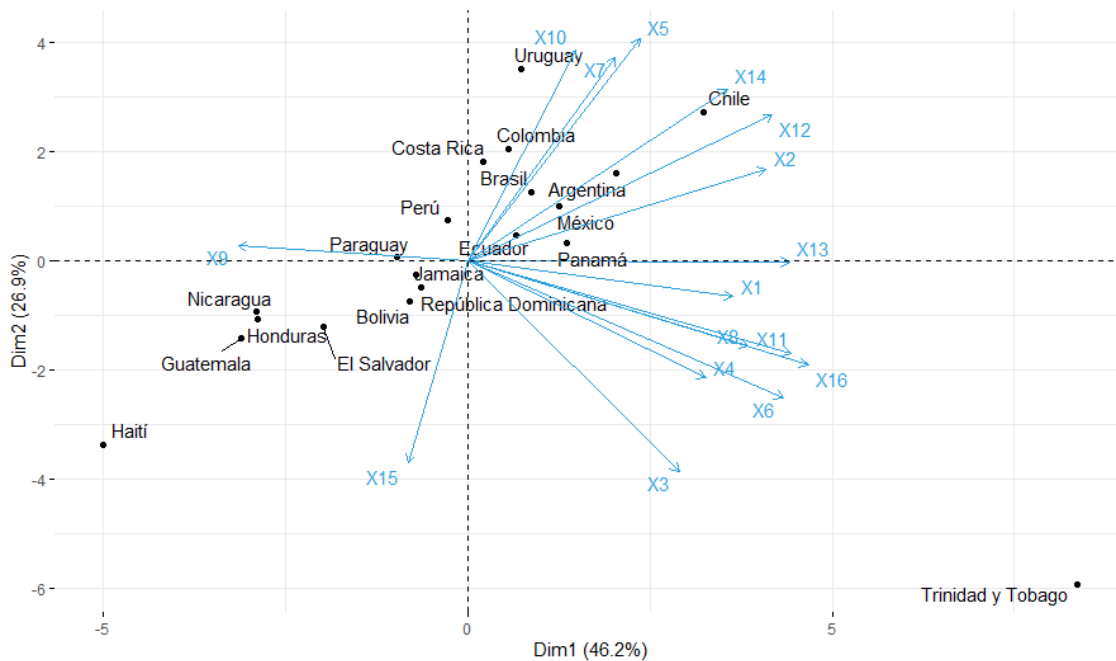


Fig. 3 Representación conjunta de variables y países sobre la CP1 y CP2

3.2. Índice de Economía Circular (IEC)

Una vez definido el número de CP a retener, el siguiente paso es la rotación de componentes. De este modo, siguiendo a Nardo et al (2008), en la Tabla 3 se presenta las cargas de los cuatro componentes después de la rotación varimax. Los pesos son cargas al cuadrado normalizadas por la varianza explicada de cada componente. Por ejemplo, $0.115 = (0.741^2)/4.759$ que es la porción de la varianza del primer componente explicada por la variable X2 (PBI per cápita). Este proceso se replica para cada CP y para las 16 variables. Luego cada variable se agrupa en aquel CP que contenga una mayor carga, y que están sombreados en la Tabla 3. Por ejemplo, el CP1 agrupa a las variables X2 (con un peso de 0.115), X4 (peso de 0.156), X6 (peso de 0.156), X11 (peso de 0.110), X13 (peso de 0.117) y X16 (peso de 0.138).

Tabla 3 Cargas de componentes después de la rotación varimax

Variable	Cargas de componentes				Pesos: cargas al cuadrado (escalados para sumar uno)			
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP1	CP2	CP3	CP4
X1	0.201	0.220	0.913	0.133	0.008	0.010	0.287	0.011
X2	0.741	0.632	-0.052	0.102	0.115	0.085	0.001	0.006
X3	0.669	-0.380	0.590	-0.123	0.094	0.031	0.120	0.009
X4	0.861	-0.113	0.076	0.091	0.156	0.003	0.002	0.005
X5	0.121	0.889	-0.105	0.185	0.003	0.169	0.004	0.021
X6	0.862	-0.062	0.481	0.074	0.156	0.001	0.080	0.003
X7	0.020	0.874	0.132	-0.127	0.000	0.163	0.006	0.010
X8	0.333	0.064	0.897	0.188	0.023	0.001	0.276	0.021
X9	-0.270	-0.054	-0.245	-0.891	0.015	0.001	0.021	0.476
X10	-0.069	0.860	0.087	-0.180	0.001	0.158	0.003	0.019
X11	0.724	0.062	0.521	0.234	0.110	0.001	0.093	0.033
X12	0.446	0.758	0.108	0.420	0.042	0.123	0.004	0.106
X13	0.745	0.319	0.185	0.340	0.117	0.022	0.012	0.069
X14	0.195	0.771	0.154	0.522	0.008	0.127	0.008	0.163
X15	0.257	-0.704	-0.024	-0.141	0.014	0.106	0.000	0.012
X16	0.809	0.041	0.497	0.245	0.138	0.000	0.085	0.036
Var. Explic.	4.759	4.679	2.910	1.667				
Var. Explic. %	33.959%	33.383%	20.762%	11.896%				

Nota: Var. Explic. es la varianza explicada por el Componente (valor propio rotado) y Var. Expl. % es la varianza explicada dividida por la suma de la varianza total de los cuatro Componentes.

Para la construcción del IEC, estos pesos son ponderados por la varianza explicada del CP correspondiente. Para tal efecto, los cuatro componentes se agregan asignando a cada uno de ellos un peso igual a la proporción de la varianza explicada en el conjunto de datos (Nardo et al., 2008): el CP1 tiene una varianza explicada de 33.959% = $4.759 / (4.759 + 4.679 + 2.910 + 1.667)$; el CP2 es de 33.383%, el CP3 es de 20.762% y el CP4 es de 11.896% (ver última fila de la Tabla 3). El resultado de los pesos ponderados se presenta en la Tabla 4. Por ejemplo, la variable X1 (que está agrupado en el CP3) tiene un peso de $0.0595 = 0.287 * 20.762\%$; la variable X2 (que está agrupado en el CP1) tiene un peso de $0.0391 = 0.115 * 33.959\%$, y así sucesivamente. Para preservar la comparabilidad, los pesos finales pueden reescalarsse para sumar uno, tal como se muestra en la tercera columna de la Tabla 4.

Tabla 4 Pesos estandarizados por variable para la construcción del IEC

Variable	Pesos ponderados	
	Peso	Peso estandarizado (Wi)
X1	0.0595	0.0819
X2	0.0391	0.0539
X3	0.0248	0.0342
X4	0.0529	0.0728
X5	0.0564	0.0776
X6	0.0530	0.0729
X7	0.0544	0.0750
X8	0.0573	0.0790

X9	0.0566	0.0779
X10	0.0528	0.0727
X11	0.0373	0.0514
X12	0.0410	0.0564
X13	0.0396	0.0545
X14	0.0194	0.0268
X15	0.0353	0.0487
X16	0.0467	0.0643
Total	0.7263	1.0000

Las cinco variables que más contribuyen al IEC son X1 (Rentas totales de los RRNN), X8 (Agotamiento de los RRNN), X9 (Consumo de energía renovable), X5 (índice de Transición Energética) y X7 (publicaciones científicas y técnicas). Una vez definido los pesos estandarizados de las variables, procedemos a calcular el IEC aplicando la Ecuación 3. Por ejemplo, el IEC para Perú se calcula de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 IEC_{Perú} = & 0.512 * 0.0819 + 0.349 * 0.0539 + 0.942 * 0.0342 + 0.006 * 0.0728 \\
 & + 0.742 * 0.0776 + 0.927 * 0.0729 + 0.132 * 0.0750 + 0.666 \\
 & * 0.0790 + 0.351 * 0.0779 + 0.306 * 0.0727 + 0.747 * 0.0514 \\
 & + 0.745 * 0.0564 + 0.735 * 0.0545 + 0.601 * 0.0268 + 0.963 \\
 & * 0.0487 + 0.870 * 0.0643 = \mathbf{0.5701}
 \end{aligned}$$

Este proceso se replica para cada uno de los 20 países de la muestra y los resultados se presentan en la Figura 4. El país que ocupa el primer lugar es Uruguay, que tiene un IEC de 0.81, seguido por Costa Rica y Panamá con un IEC de 0.70 y 0.67 respectivamente. En el lado opuesto, Trinidad y Tobago tiene un IEC de 0.24, el más bajo de todos y bastante distante respecto a Haití, país ubicado en el penúltimo lugar con un IEC de 0.49.

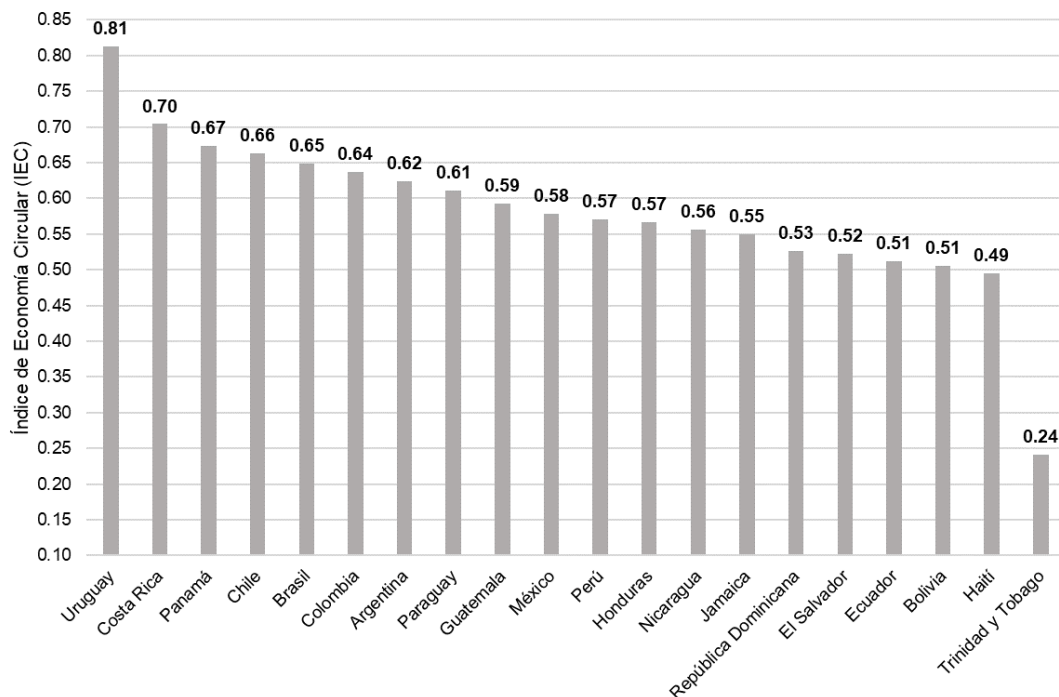


Fig. 4 Índice de Economía Circular (IEC) de los países de ALC

3.3. Índice por dimensiones de la economía circular

Considerando que para evaluar la EC es mejor un conjunto de indicadores en lugar de uno solo (Moraga et al., 2019), otro análisis complementario y que resulta interesante, es determinar un índice por dimensiones de la EC. Para esto, las variables fueron agrupadas según la dimensión a la que pertenecen de acuerdo a la Tabla 1. Luego, empleando los pesos de las variables de la Tabla 4, se realizó un proceso para estandarizarlos de forma relativa a la dimensión que correspondan. Por ejemplo, la Dimensión 1 Producción de Recursos, está conformado por las variables X1 (con un peso de 0.0595) y X2 (con un peso de 0.0391). Entonces se obtiene que X1 tiene un peso estándar de $0.6031=0.0595/(0.0595+0.0391)$ y X2 tiene un peso estándar de $0.3969=0.0391/(0.0595+0.0391)$. Es resto del proceso es similar a lo ya explicado para calcular el IEC. Así, los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 5, donde se incluye el ranking que ocupa un país en cada una de las cuatro dimensiones de la EC.

Tabla 5 Índice por dimensiones de la Economía Circular

País	Dimensión 1		Dimensión 2		Dimensión 3		Dimensión 4	
	Índice	Ranking	Índice	Ranking	Índice	Ranking	Índice	Ranking
Argentina	0.76	4	0.59	12	0.57	6	0.69	13
Bolivia	0.42	17	0.57	13	0.32	19	0.87	1
Brasil	0.55	14	0.67	4	0.62	3	0.76	11
Chile	0.59	11	0.62	7	0.70	2	0.69	14
Colombia	0.40	18	0.66	5	0.60	5	0.86	2
Costa Rica	0.86	3	0.73	2	0.60	4	0.79	7
Ecuador	0.23	20	0.61	11	0.43	16	0.76	10
El Salvador	0.65	9	0.57	15	0.39	18	0.65	16
Guatemala	0.61	10	0.62	8	0.49	8	0.77	9
Haití	0.58	12	0.39	20	0.49	7	0.58	19
Honduras	0.57	13	0.56	16	0.46	14	0.79	6
Jamaica	0.71	6	0.57	14	0.47	12	0.58	18
México	0.67	7	0.65	6	0.46	15	0.67	15
Nicaragua	0.54	15	0.49	18	0.48	10	0.81	5
Panamá	0.96	1	0.83	1	0.47	11	0.70	12
Paraguay	0.65	8	0.61	9	0.48	9	0.85	3
Perú	0.45	16	0.61	10	0.47	13	0.82	4
República Dominicana	0.72	5	0.55	17	0.42	17	0.59	17
Trinidad y Tobago	0.38	19	0.42	19	0.12	20	0.17	20
Uruguay	0.89	2	0.71	3	0.87	1	0.77	8

Como se verifica en la Tabla 5, en la Dimensión 1 Producción de Recursos, Panamá se ubica en el ranking 1 con un índice de 0.96, en tanto Ecuador ocupa el último lugar con un índice de 0.23. Para el caso de la Dimensión 2 Consumo de Recursos, nuevamente Panamá lidera el ranking con un índice de 0.83, y Haití se posiciona en el último lugar con un índice de 0.39. En la Dimensión 3 Utilización Integrada de Recursos, Uruguay está en ranking 1 con un índice de 0.87, en contraste Trinidad y Tobago ocupa el último lugar con un índice de 0.12. Finalmente, en la Dimensión 4 Eliminación de Residuos/Emisiones Contaminantes, Bolivia lidera el ranking con un índice de 0.87 y en último lugar está Trinidad y Tobago con un índice de 0.17.

Para finalizar, se debe preciar algunas limitaciones de la investigación. La falta de datos ha generado que se deban omitir algunas variables relevantes como el reciclaje. También se tuvo que emplear variables proxy. Por ejemplo, los datos sobre el gasto en investigación y desarrollo (% del PBI) no se encuentran actualizados y en su lugar se empleó el número de publicaciones científicas y técnicas (X7). En este sentido, la investigación pone en evidencia la necesidad de establecer un sistema de indicadores en ALC que permita monitorear la transición a la EC de los países de la región. Futuras investigaciones pueden superar esta falta de indicadores o trabajar con series de tiempo de varios periodos que permita obtener resultados más robustos y analizar las tendencias.

4. Conclusiones

La economía circular es una de las estrategias más recientes para integrar la actividad económica y el bienestar ambiental que busca maximizar el valor de los recursos y los productos. Surge como una alternativa frente al modelo económico lineal de producción – consumo – desecho aún predominante en el mundo. Europa y China son las regiones donde más avances tiene este modelo de producción circular. Las investigaciones que analizan la Economía circular provienen en su mayoría de estas dos regiones. Por esta razón, en esta investigación se buscó realizar un análisis particular de la economía circular para América Latina y el Caribe y de esta manera facilitar la transición de los países de la región a este nuevo modelo circular.

Mediante la técnica del análisis de componentes principales se logró determinar un Índice de Economía Circular para los países de América Latina y el Caribe. Los resultados muestran que Uruguay es el país mejor ubicado, es decir ha logrado un mayor desarrollo en la transición a un modelo de economía circular. Costa Rica y Panamá se ubican en segundo y tercer lugar respectivamente. Por el contrario, Trinidad y Tobago ocupa el último lugar de los 20 países analizados. También se determinó índices por dimensiones de la economía circular: en la Dimensión 1 Producción de Recursos, Panamá se ubica en el ranking 1; en la Dimensión 2 Consumo de Recursos, nuevamente Panamá lidera el ranking; en la Dimensión 3 Utilización Integrada de Recursos, Uruguay está en ranking 1; y finalmente, en la Dimensión 4 Eliminación de Residuos/Emisiones Contaminantes, Bolivia lidera el ranking.

5. Referencias

- Abdi, H., & Williams, L. J. (2010). Principal component analysis. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 2(4), 433–459. <https://doi.org/10.1002/wics.101>
- Abeyasekera, S. (2005). Multivariate methods for index construction. In *Household Sample Surveys in Developing and Transition Countries* (pp. 367–387). United Nations. https://unstats.un.org/unsd/HHsurveys/pdf/Chapter_18.pdf
- Afifi, A., May, S., Donatello, R., & Clark, V. (2020). *Practical Multivariate Analysis* (6th ed.). Taylor & Francis Group.
- Aldás, J., & Uriel, E. (2017). *Análisis multivariante aplicado con R* (2a ed.). Ediciones Paraninfo.
- Androniceanu, A., Kinnunen, J., & Georgescu, I. (2021). Circular economy as a strategic option to promote sustainable economic growth and effective human development. *Journal of International Studies*, 14(1), 60–73. <https://doi.org/10.14254/2071->

- [8330.2021/14-1/4](https://doi.org/10.3390/su11113025)
- Avdushchenko, A., & Zajaç, P. (2019). Circular Economy Indicators as a Supporting Tool for European Regional Development Policies. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(3025), 1–22. <https://doi.org/10.3390/su11113025>
- Backhaus, K., Erichson, B., Gensler, S., Weiber, R., & Weiber, T. (2021). *Multivariate Analysis: An Application-Oriented Introduction*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-32589-3>
- Banco Mundial. (n.d.-a). *Indicadores*. Retrieved February 18, 2023, from <https://datos.bancomundial.org/indicador?tab=all>
- Banco Mundial. (n.d.-b). *What A Waste Global Database*. Retrieved February 18, 2023, from <https://datacatalog.worldbank.org/dataset/what-waste-global-database>
- Betancourt Morales, C. M., & Zartha Sossa, J. W. (2020). Circular economy in Latin America: A systematic literature review. *Business Strategy and the Environment*, *29*(6), 2479–2497. <https://doi.org/10.1002/bse.2515>
- CEPAL. (n.d.-a). *Banco de datos regional para el seguimiento de los ODS en América Latina y el Caribe*. Retrieved February 26, 2023, from <https://agenda2030lac.org/estadisticas/banco-datos-regional-seguimiento-ods.html?lang=es>
- CEPAL. (n.d.-b). *CEPALSTAT Bases de Datos y Publicaciones Estadísticas*. Retrieved February 18, 2023, from <https://statistics.cepal.org/portal/cepalstat/dashboard.html?theme=3&lang=es>
- CEPAL, & OIT. (2018). *Sostenibilidad medioambiental con empleo en América Latina y el Caribe*. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44185/1/S1800886_es.pdf
- Chafra-Martínez, P., & Lascano-Vaca, M. (2021). Entendiendo la economía circular desde una visión ecuatoriana y latinoamericana. *Ciencia Unemi*, *14*(36), 73–86. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol14iss36.2021pp73-86p>
- Clayson Cosme, D. C. P. (2022). La Economía Circular como eje de desarrollo de los países latinoamericanos. *Revista Economía y Política*, *35*, 1–11. <https://doi.org/10.25097/rep.n35.2022.01>
- Coalición de Economía Circular para América Latina y el Caribe. (2022). Economía circular en América Latina y el Caribe: Una visión compartida. In *Economía industrial*. <https://coalicioneconomiacircular.org/wp-content/uploads/2022/02/ESPAÑOL-Economía-circular-en-América-Latina-y-el-Caribe.pdf>
- de Oliveira Frascareli, F. C., Furlan, M., Barberio Mariano, E., & Jugend, D. (2023). A macro-level circular economy index: theoretical proposal and application in European Union countries. In *Environment, Development and Sustainability*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03389-5>
- De Pascale, A., Arbolino, R., Szopik-Depczyńska, K., Limosani, M., & Ioppolo, G. (2021). A systematic review for measuring circular economy: The 61 indicators. *Journal of Cleaner Production*, *281*, 124942. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124942>
- Dietz, S., & Lanz, B. (2022). *Growth and adaptation to climate change in the long run*. <https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/wp-content/uploads/2022/12/Working-paper-386-Dietz-Lanz.pdf>
- Domenech, T., & Bahn-Walkowiak, B. (2017). Transition Towards a Resource Efficient Circular Economy in Europe: Policy Lessons From the EU and the Member States.

- Ecological Economics*, 155, 7–19. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.11.001>
- Dominko, M., Primc, K., Slabe-Erker, R., & Kalar, B. (2023). A bibliometric analysis of circular economy in the fields of business and economics: towards more action-oriented research. In *Environment, Development and Sustainability* (Vol. 25, Issue 7). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02347-x>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Geladi, P., & Linderholm, J. (2020). Principal Component Analysis. In *Comprehensive Chemometrics: Chemical and Biochemical Data Analysis, Second Edition: Four Volume Set* (2nd ed., Vol. 2, pp. 17–37). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.14892-9>
- Geng, Yon, & Doberstain, B. (2008). Developing circular economy in China: Challenges and opportunities for achieving “leapfrog development.” *Journal of Sustainability Development*, 15, 231–239. <https://doi.org/10.3843/SusDev.15.3:6>
- Geng, Yong, Fu, J., Sarkis, J., & Xue, B. (2012). Towards a national circular economy indicator system in China: An evaluation and critical analysis. *Journal of Cleaner Production*, 23, 216–224. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.07.005>
- Guo, B., Geng, Y., Ren, J., Zhu, L., Liu, Y., & Sterr, T. (2017). Comparative assessment of circular economy development in China’s four megacities: The case of Beijing, Chongqing, Shanghai and Urumqi. *Journal of Cleaner Production*, 162, 234–246. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.061>
- Hair Jr, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E., Black, W. C., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate Data Analysis* (8th ed.). Cengage Learning EMEA.
- Henríquez-Aravena, A., Martínez-Cerna, L., & Venegas-Cifuentes, A. (2021). *Transitando hacia la economía circular: Oportunidades y pasos para América Latina*. https://www.kas.de/documents/273477/13438574/Transitando+hacia+la+economía+circular_Oportunidades+y+pasos+para+América+Latina.pdf/affcaeaf-9000-4b7e-efd0-71eb66eb4516?version=1.0&t=1625152952664
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: las tres rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mc Graw Hill. <http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/handle/54000/1292>
- Hoof, B. Van, Núñez, G., & Miguel, C. De. (2023). *Scaling up circular economy initiatives in Latin America and the Caribbean*. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/48835/S2300267_en.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- IRP. (2019). Global Resources Outlook 2019: Natural Resources for the Future We Want. In *Global Resources Outlook 2019*. <https://www.resourcepanel.org/reports/global-resources-outlook>
- Jayachandran, S. (2022). How Economic Development Influences the Environment. *Annual Review of Economics*, 14, 229–252. <https://doi.org/10.1146/annurev-economics-082321-123803>
- Jolliffe, I. T. (2002). *Principal component analysis* (2nd ed.). Springer. <https://acortar.link/ypaCPI>
- Kassambara, A. (2017). *Practical Guide To Principal Component Methods in R*. STHDA.
- Kherif, F., & Latypova, A. (2019). Principal component analysis. In *Machine Learning: Methods and Applications to Brain Disorders* (pp. 209–225). Elsevier Inc.

- <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815739-8.00012-2>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, 143, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>
- Martinho, V. J. P. D. (2021). Insights into circular economy indicators: Emphasizing dimensions of sustainability. *Environmental and Sustainability Indicators*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2021.100119>
- McDowall, W., Geng, Y., Huang, B., Barteková, E., Bleischwitz, R., Türkeli, S., Kemp, R., & Doménech, T. (2017). Circular Economy Policies in China and Europe. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 651–661. <https://doi.org/10.1111/jiec.12597>
- Merli, R., Preziosi, M., & Acampora, A. (2018). How do scholars approach the circular economy? A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 178, 703–722. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.112>
- Moraga, G., Huysveld, S., Mathieux, F., Blengini, G. A., Alaerts, L., Van Acker, K., de Meester, S., & Dewulf, J. (2019). Circular economy indicators: What do they measure? *Resources, Conservation and Recycling*, 146, 452–461. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.045>
- Mulder, N., & Albaladejo, M. (2020). *El comercio internacional y la economía circular en América Latina y el Caribe*. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46618/1/S2000783_es.pdf
- Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. *Journal of Business Ethics*, 140(3), 369–380. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2>
- Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffmann, A., & Giovannini, E. (2008). *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide*. OECD publishing. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC47008>
- OECD, CAF, & CEPAL. (2022). *Latin American Economic Outlook 2022: Towards a Green and Just Transition*. <https://doi.org/10.1787/3d5554fc-en>
- Ospina-Mateus, H., Marrugo-Salas, L., Castilla Castilla, L., Castellón, L., Cantillo, A., Bolivar, L. M., Salas-Navarro, K., & Zamora-Musa, R. (2023). Analysis in circular economy research in Latin America: A bibliometric review. *Heliyon*, 9(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19999>
- Our World in Data. (n.d.). *Our World in Data*. Retrieved March 1, 2023, from <https://ourworldindata.org/>
- PNUD. (n.d.). *Índice de desarrollo humano*. Retrieved February 18, 2023, from <https://hdr.undp.org/data-center/documentation-and-downloads>
- Reike, D., Vermeulen, W. J. V., & Witjes, S. (2018). The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? — Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 246–264. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027>
- Ringnér, M. (2008). What is principal components analysis? *Nature Biotechnology*, 26(3), 303–304. <https://doi.org/10.1038/nbt0308-303>
- Saidani, M., Yannou, B., Leroy, Y., Cluzel, F., & Kendall, A. (2019). A taxonomy of

- circular economy indicators. *Journal of Cleaner Production*, 207, 542–559. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.014>
- Salas, D. A., Criollo, P., & Ramirez, A. D. (2021). The role of higher education institutions in the implementation of circular economy in Latin America. *Sustainability (Switzerland)*, 13(17), 1–27. <https://doi.org/10.3390/su13179805>
- Samaniego, J., Rondón Toro, E., Herrera Jiménez, J., & Santori, S. (2022). *Panorama de las hojas de ruta de economía circular en América Latina y el Caribe*. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/48632-panorama-hojas-ruta-economia-circular-america-latina-caribe>
- Sánchez-Ortiz, J., Rodríguez-Cornejo, V., Del Río-Sánchez, R., & García-Valderrama, T. (2020). Indicators to measure efficiency in circular economies. *Sustainability (Switzerland)*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/su12114483>
- Schröder, P., Albaladejo, M., Alonso Ribas, P., MacEwen, M., & Tilkanen, J. (2020). Liberando la economía circular en América Latina y el Caribe: Oportunidades para fomentar la resiliencia. In *Chatham House*. <https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/2021-01/2021-01-13-spanish-circular-economy-schroder-et-al.pdf>
- Schroeder, P., Anggraeni, K., & Weber, U. (2019). The Relevance of Circular Economy Practices to the Sustainable Development Goals. *Journal of Industrial Ecology*, 23(1), 77–95. <https://doi.org/10.1111/jiec.12732>
- Syms, C. (2018). Principal components analysis. In *Encyclopedia of Ecology* (2nd ed., pp. 566–573). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11152-2>
- United Nations Environment Programme. (2023). *Nature Risk Profile: A methodology for profiling nature related dependencies and impacts*. <https://www.unep.org/resources/publication/nature-risk-profile-methodology-profiling-nature-related-dependencies-and>
- Wold, S., Esbensen, K., & Geladi, P. (1987). Principal Component Analysis. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 2, 37–52. [https://doi.org/10.1016/0169-7439\(87\)80084-9](https://doi.org/10.1016/0169-7439(87)80084-9)
- World Economic Forum. (2019). *Fostering Effective Energy Transition. 2019 edition*. https://www3.weforum.org/docs/WEF_Fostering_Effective_Energy_Transition_2019.pdf
- WWF. (2022). *Informe Planeta vivo 2022: Hacia una sociedad con la naturaleza en positivo*. https://wwflpr.awsassets.panda.org/downloads/descarga_informe_planeta_vivo_2022_1_1_1.pdf
- Yáñez, P. P. (2021). Viabilidad de la economía circular en países no industrializados y su ajuste a una propuesta de economías transformadoras. Un acercamiento al escenario latinoamericano. *CIRIEC-España Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa*, 101, 289–323. <https://doi.org/10.7203/CIRIEC-E.101.15979>
- Yang, Q., Chen, M., & Gao, Q. (2011). Research on the circular economy in West China. *Energy Procedia*, 5, 1425–1432. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.03.246>
- YCELP - Yale University, & CIESIN - Columbia University. (2020). *Environmental Performance Index (EPI)*. <https://doi.org/10.7927/f54c-0r44>
- Yeomans, K. A., & Golder, P. A. (1982). The Guttman-Kaiser Criterion as a Predictor of the Number of Common Factors. *The Statistician*, 31(3), 221–229. <https://doi.org/10.2307/2987988>
- York University Ecological Footprint Initiative, & Global Footprint Network. (2022).

National Footprint and Biocapacity Accounts. <https://data.footprintnetwork.org>
Zottele Allende, A. C., & Nájera Jiménez, L. E. (2022). Economía circular: contribución a la Agenda 2030. *Revista Mexicana de Economía y Finanzas*, 17(4), 1–17. <https://doi.org/10.21919/remef.v17i4.792>

Anexos

Evidencia de la sumisión del artículo en una revista de prestigio



Sebastian Beas <ayalabeas@gmail.com>

[Economics] Manuscript ID: economics-2769131 - Submission Received

1 mensaje

27 de noviembre de 2023, 12:10

Editorial Office <economics@mdpi.com>

Responder a: economics@mdpi.com

Para: Javier Linkolk López-Gonzales <javierlinkolk@gmail.com>

Cc: Sebastian Rolando Ayala-Beas <ayalabeas@gmail.com>, Nemias Saboya <saboya@upeu.edu.pe>

Dear Dr. López-Gonzales,

Thank you very much for uploading the following manuscript to the MDPI submission system. One of our editors will be in touch with you soon.

Journal name: Economics

Manuscript ID: economics-2769131

Type of manuscript: Article

Title: Estimation of the circular economy index in Latin America and the

Caribbean through Principal Component Analysis

Authors: Sebastian Rolando Ayala-Beas, Nemias Saboya *, Javier Linkolk

López-Gonzales

Received: 27 Nov 2023

E-mails: ayalabeas@gmail.com, saboya@upeu.edu.pe, javierlinkolk@gmail.com

You can follow progress of your manuscript at the following link (login required):

https://susy.mdpi.com/user/manuscripts/review_info/1cc5f31fb809b716504d0c8c08ae2e8c

The following points were confirmed during submission:

1. Economics is an open access journal with publishing fees of 1400 CHF for an accepted paper (see <https://www.mdpi.com/about/apc/> for details). This manuscript, if accepted, will be published under an open access Creative Commons CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), and I agree to pay the Article Processing Charges as described on the journal webpage (<https://www.mdpi.com/journal/economics/apc>). See <https://www.mdpi.com/about/openaccess> for more information about open access publishing.

Please note that you may be entitled to a discount if you have previously received a discount code or if your institute is participating in the MDPI Institutional Open Access Program (IOAP), for more information see <https://www.mdpi.com/about/ioap>. If you have been granted any other special discounts for your submission, please contact the Economics editorial office.

2. I understand that:

a. If previously published material is reproduced in my manuscript, I will provide proof that I have obtained the necessary copyright permission. (Please refer to the Rights & Permissions website: <https://www.mdpi.com/authors/rights>).

b. My manuscript is submitted on the understanding that it has not been published in or submitted to another peer-reviewed journal. Exceptions to this rule are papers containing material disclosed at conferences. I confirm that I will inform the journal editorial office if this is the case for my manuscript. I confirm that all authors are familiar with and agree with submission of the contents of the manuscript. The journal editorial office reserves the right to contact all authors to confirm this in case of doubt. I will provide email addresses for all authors and an institutional e-mail address for at least one of the co-authors, and specify the name, address and e-mail for invoicing purposes.

If you have any questions, please do not hesitate to contact the Economics editorial office at economics@mdpi.com

Kind regards,
Economics Editorial Office
St. Alban-Anlage 66, 4052 Basel, Switzerland
E-Mail: economics@mdpi.com
Tel. +41 61 683 77 34
Fax: +41 61 302 89 18

*** This is an automatically generated email ***