

DEPÓSITO LEGAL ZU2020000153

ISSN 0041-8811

E-ISSN 2665-0428

# Revista de la Universidad del Zulia

Fundada en 1947  
por el Dr. Jesús Enrique Lossada



**Ciencias**  

---

**Exactas,**  

---

**Naturales**  

---

**y de la Salud**  

---

**Año 14 N° 40**

**Mayo - Agosto 2023**

**Tercera Época**

**Maracaibo-Venezuela**

## Modelación de barreras energéticas para la transición industrial en la Economía Circular

Fernando Lámbarry-Vilchis \*  
Juan Carlos Moreno-Jiménez \*\*

### RESUMEN

Los sistemas industriales de producción mientras agotan las existencias de materiales, liberan emisiones en formas que la naturaleza no puede asimilar, para solventar esta situación una incipiente alternativa es transitar a un modelo de Economía Circular en el que los procesos industriales optimicen sus flujos energéticos y se sustituya la demanda y participación de energías fósiles por renovables, situación que ha presentado barreras que aún no se entienden del todo y que han obstaculizado su adopción. Es por ello que, el objetivo de esta investigación consistió en modelar las barreras energéticas, a través del Modelado Estructural Interpretativo y la Matriz de Impacto Cruzado-Multiplicación Aplicada a la Clasificación. Se concluye que las barreras y sus interrelaciones prioritarias se orienten a lo político-regulatorio, por lo que se sugiere promover un marco jurídico fundamentado en las mejores prácticas internacionales para fomentar la transición a la circularidad energética.

**PALABRAS CLAVE:** Transición en la circularidad energética, barreras transitivas energéticas, economía circular industrial, ISM-MICMAC circularidad energética.

\*\*Investigador del Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Comercio y Administración ST. Ciudad de México, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0216-1647>. E-mail: flambarry@gmail.com

\*\*Candidato a Dr. en Ciencias Administrativas. Investigador independiente. Ciudad de México, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4766-3605>.

Recibido: 27/01/2023

Aceptado: 15/03/2023

## Modeling of Energetic Barriers for the Industrial Transition in the Circular Economy

### ABSTRACT

Industrial production systems, while stocks of materials are being depleted, release emissions in ways that nature cannot assimilate. To solve this situation, an emerging alternative is to move to a circular economy model in which industrial processes optimize their energy flows and the demand and share of fossil fuels are replaced by renewable ones, a situation that has presented barriers that are still not fully understood and that have hindered their adoption. That is why the objective of this research was to model the energy barriers, through Interpretive Structural Modeling and the Cross-Impact-Multiplication Matrix applied to classification. It is concluded that the barriers and their priority interrelationships are oriented towards the political-regulatory aspect, for which it is suggested to promote a legal framework based on the best international practices to promote the transition to energy circularity.

KEY WORDS: transition in energy circularity, energy transitive barriers, industrial circular economy, ISM-MICMAC energetic circularity.

### Introducción

La comunidad internacional, derivada de los acuerdos de París, adquirió el compromiso de mantener el aumento de la temperatura media global por debajo de los 2°C, para limitarlo a 1,5°C. (IPCC, 2018; Unfccc, 2015) y alcanzar la neutralidad de emisiones de gas de efecto invernadero para la segunda mitad de este siglo (Unfccc, 2015), lo que puede lograrse entre otras formas, transitando a un nuevo modelo económico circular (Ellen MacArthur Foundation, 2020; IRENA, 2020a). Varios factores indican que el modelo lineal se ve cada vez más desafiado por el contexto mismo en el que opera, la eficiencia como solución (una reducción de los recursos y la energía fósil consumida por unidad de producción económica) no alterará la naturaleza finita de las existencias de materiales y sólo retrasará lo inevitable (Ellen MacArthur Foundation, 2015c), es necesario un cambio más profundo del sistema económico.

Derivado de lo anterior, la comunidad internacional se ha propuesto transitar hacia la circularidad de la economía, incluso se ha generado el estándar BS 8001:2017 para implantar estos principios en las organizaciones; sin embargo, la circularidad no termina de emerger, hoy en día,

la economía global es sólo 8,6% circular, cuando hace dos años era de 9,1% (de Wit et al., 2020). La transición a una industria circular implica por esencia transitar a fuentes de energía renovable (Ellen MacArthur Foundation, 2020), promoverlas se considera un punto clave para la circularidad (Elia et al., 2020; Kalchenko et al., 2019). Pese a ello, la energía en su uso, generación y consumo ha sido un factor desestimado en su papel dentro de la adopción de la economía circular, por lo que la pregunta de investigación abordada en este estudio es: ¿Cuáles son las barreras energéticas de México en la transición industrial hacia la economía circular? Para responder dicha interrogante, se considera necesario estudiar las barreras energéticas para México y sus interrelaciones en la adopción de la energía renovable a través del análisis interpretativo estructurado y bajo el marco de la circularidad económica industrial.

## 1. Base teórica

### 1.1. La energía renovable en la circularidad económica

Probablemente uno de los conceptos más relacionados con el de economía circular es el de “Cradle to Cradle” al fundamentarse en la división entre materiales biológicos y técnicos (McDonough & Braungart, 2002; Ellen MacArthur Foundation, 2014). Aunque en la literatura se visualizan superposiciones del concepto de economía circular con otros, tales como, logística inversa, circuito cerrado, simbiosis industrial, ecología industrial y ciclo de vida (Sehnm et al., 2019), la mayoría de ellos son coincidentes sobre la optimización de los flujos energéticos, tanto en su generación como en su uso durante el proceso productivo (Boons et al., 2017; Korhonen et al., 2018a; Suárez-Eiroa et al., 2019). Ante ello, es evidente la influencia de estas corrientes teóricas en la importancia de la energía en la acepción de economía circular como “*un sistema industrial restaurador o regenerativo por intención y diseño. Reemplaza el concepto de fin de vida por restauración, cambia hacia el uso de energía renovable...*”(Ellen MacArthur Foundation, 2014), perspectiva que se refuerza bajo el marco ReSOLVE al establecer que la energía necesaria para impulsar la circularidad en las organizaciones debe ser renovable por naturaleza (Ellen MacArthur Foundation, 2015c; Ellen MacArthur Foundation, 2019); de igual forma, en el modelo DISRUPT ralentizan el flujo de recursos, cierran el ciclo, mientras se cambia a recursos regenerativos y energías limpias (de Wit et al., 2020). Esta es una de las razones por las que el

sector energético europeo está transitando hacia las energías renovables (Ellen MacArthur Foundation, 2015b).

A pesar de ello, cerca del 75% de la energía en el mundo se sigue generando en fuentes no renovables, liberando emisiones en formas y concentraciones que la naturaleza no puede tolerar o asimilar. Este es el paradigma más evidente del agotamiento de la economía lineal y de la necesidad de transitar a una visión de economía circular (Korhonen et al., 2018b). Ante ello y derivado simultáneamente por el calentamiento global; la Agenda 2030 de desarrollo sostenible acordada en 2015 por todos los países miembros de las Naciones Unidas planteó en el objetivo 7.2, aumentar sustancialmente la participación de la energía renovable para satisfacer la demanda energética (IEA et al., 2020), lo que representa una oportunidad sin precedentes para transformar la economía mundial. Sin embargo, y pese a que la energía renovable alcanzó una participación del 17,3% del total del uso final en 2018 (IEA et al., 2020), el ritmo de este avance no es suficiente para cumplir los objetivos del Acuerdo de París (IRENA, 2020a), en gran medida explicado por la significativa demanda energética de cuatro industrias (siderurgia, química, petroquímica y cementera) que emiten la mayor cantidad (28%) de CO<sub>2</sub> (IRENA, 2020b). Derivado de lo anterior, resulta necesario acelerar el cambio al uso de energías renovables en todos los sectores industriales (IEA et al., 2020) toda vez que una de las alternativas para lograrlo es transitar a un modelo económico circular (Ellen MacArthur Foundation, 2020; IRENA, 2020a).

Pese a ello, algunos de los modelos evolutivos plantean medir la economía circular de un sistema en forma unidimensional, basadas sólo en el grado de recirculación del material, lo que representa una considerable limitación al excluir del análisis otros factores importantes como las emisiones atmosféricas y el consumo de energía (Geng et al., 2012; Moriguchi, 2007), resultando modelos inadecuados que en tanto pueden alcanzar la circularidad de los recursos, aumentan el uso de energía y emisiones contaminantes (Corona et al., 2019). Por lo que, alternativamente otros modelos incorporan indicadores sintéticos para la métrica energética, que por definición constituye un principio fundamental en la economía circular, y cuantifican los flujos de la demanda energética (Huijbregtset al., 2010), el consumo de energía (Geng et al., 2012), ahorro de energía (Nuñez-Cacho et al., 2018), recuperación de energía (Ellen MacArthur

Foundation, 2015a), o en cuanto al porcentaje de consumo de energías renovables o energías limpias (Corona et al., 2019; Elia et al., 2017; European Environment Agency Report, 2016; Nuñez-Cacho et al., 2018; World Business Council For Sustainable Development, 2019).

Así mismo, desde la perspectiva para identificar los factores clave al implementar la economía circular en las organizaciones, Govindan & Hasanagic, (2018) enfatizan entre trece impulsores, los de proteger a los recursos renovables y favorecer a la energía renovable para implementar una economía circular en la cadena de suministro; Araujo Galvão et al., (2018) identifican como un factor político y regulatorio la conversión de residuos en energía como un método viable del sistema energético de distrito hacia la economía industrial circular, mientras que Tura et al., (2019) concluyen que uno de los impulsores económicos son los combustibles renovables.

## 1.2. Análisis estructural ISM-MICMAC en la Economía circular

El Modelado Estructural Interpretativo (ISM por sus siglas en inglés) y la Matriz de Impacto Cruzado-Multiplicación Aplicada a la Clasificación (MICMAC por sus siglas en francés) son métodos para comprender las relaciones directas o indirectas entre los factores que influyen en un sistema (Godet et al., 2013; Ramesh et al., 2010), mediante los fundamentos de la teoría de grafos (del Pilar et al., 2019; Sagheer et al., 2009) y conjuntamente con MICMAC, estratifican a los factores según su poder de influencia y dependencia (Luthra et al., 2014; Wang et al., 2008). En tanto que el poder de influencia es el grado que un factor tiene sobre otros, la dependencia es la influencia que recibe un factor de uno o varios influyentes (Chander et al., 2013), que conforme a esto, se clasifican en cuatro grupos: independientes con débil dependencia y fuerte influencia; de enlace con fuerte dependencia y fuerte poder de influencia; autónomos son poco influyentes y poco dependientes y; dependientes con fuerte dependencia y poco poder de influencia (Agrawal, 2019; Arcade et al., 2004).

En la literatura sobre ISM-MICMAC se encuentran diversas áreas de aplicación, pero desde la perspectiva de la energía renovable como uno de los factores clave al implementar la economía circular en las organizaciones son escasos, Bilal et al., (2020) reportan a la energía en el primer lugar entre siete dimensiones, valorándola a través del consumo de energía renovable para el sector de la construcción. Derivado de lo anterior, este estudio tiene como objetivo

modelar estructuralmente las barreras energéticas en la transición industrial de México hacia la economía circular.

## 2. Método de investigación

El estudio se fundamentó en el Modelado Estructural Interpretativo y en la Matriz de Impacto Cruzado-Multiplicación Aplicada a la Clasificación (ISM-MICMAC), una consideración de este método es que puede efectuarse un número pequeño de expertos (Shen et al., 2016). Las etapas consideradas en el estudio se basaron en las de Gan et al., (2018) y Xu & Zou, (2020):

**Etapas 1:** Identificación de las barreras energéticas en la transición industrial hacia la economía circular y sus relaciones contextuales, a partir de una revisión teórica.

**Etapas 2:** Validación por un grupo de expertos de las barreras contextuales para la construcción de la Matriz de Adyacencia (MAd). Las relaciones contextuales en la MAd se describen mediante los símbolos: V (significa que la barrera  $i$  conduce a la barrera  $j$ ), A (significa que barrera  $j$  conduce a la barrera  $i$ ), X (significa que la barrera  $i$  y la barrera  $j$  influyen entre sí), O (significa que la barrera  $i$  y la barrera  $j$  no están relacionados).

**Etapas 3.** Desarrollo de la Matriz de Transitividad (MTr). A partir de la Matriz de Adyacencia, se construyó la Matriz de Transitividad que contempla tanto a las relaciones directas como a las transitivas. En esta etapa se desarrolla la Matriz de Transitividad inicial (MTri) reemplazando los símbolos V, A, X, O, de la Matriz de Adyacencia con valores binarios 1 y 0 bajo las siguientes reglas (Gan et al., 2018; Shen et al., 2016):

- Un símbolo V en la celda  $(i,j)$  de la MAd implica convertir en la MTri la celda  $(i,j)$  en 1 y la celda  $(j,i)$  en 0.
- Un símbolo A en la celda  $(i,j)$  de la MAd implica convertir MTri la celda  $(i,j)$  en 0 y la celda  $(j,i)$  en 1.
- Un símbolo X en la celda  $(i,j)$  de la MAd indica convertir en la MTri la celda  $(i,j)$  en 1 y también la celda  $(j,i)$  en 1.
- Un símbolo O en la celda  $(i,j)$  de la MAd indica convertir en la MTri la celda  $(i,j)$  en 0 además la celda  $(j,i)$  en 0.



En segundo lugar, a través de la regla de transitividad aplicada a la Matriz de Transitividad Inicial, que establece si un atributo  $\alpha$  está relacionado con  $\beta$  y  $\beta$  está relacionado con  $\gamma$ , entonces  $\alpha$  está necesariamente relacionado, aunque indirectamente con  $\gamma$ . Un paso clave en la metodología ISM es verificar los enlaces transitivos entre los factores, lo que se logra elevando la matriz de accesibilidad inicial a una potencia suficientemente grande hasta que los números binarios converjan (del Pilar et al., 2019). La transitividad de la matriz, entre otros métodos, puede ser calculada por (Shen et al., 2016):

$$R_f = R_i^k = R_i^{k+1}, k > 1 \quad \text{ecuación 1}$$

Donde  $R_f$  es la Matriz final de Transitividad y  $R_i$  es la Matriz de Transitividad inicial.

**Etapas 4.** Desarrollo de la estructura jerárquica: partición de la matriz de transitividad y modelo ISM. Es un proceso iterativo de jerarquización de las barreras de la MTr, a través de conjuntos de accesibilidad, antecedente e intersección, identificándolos en un nivel según su comunidad de accesibilidad e intersección. El resultado indica las barreras a las que pueden influir o aquellas que las influyen (Luthra et al., 2014; Shen et al., 2016).

**Etapas 5.** Clasificación de las barreras con MICMAC. Calculando el poder de influencia y de dependencia con las sumatorias de todos los valores de una fila y/o columna respectivamente en la MTr.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Etapa 1. Identificación de las barreras

En esta fase a partir de una revisión teórica se identificaron 20 barreras en la adopción de energías renovables en la transición industrial hacia la economía circular.

Barreras sociales:

**b1.** Conciencia pública: en un contexto en donde las regulaciones condicionan a la industria a reducir el impacto en el medio ambiente (Velasco-Herrejon & Bauwens, 2020).

**b2.** Consumo poblacional: inciden en la velocidad de transición al uso de energías renovables en la industria. En distintas naciones existe un uso intensivo de carbón, petróleo, combustóleo, motivado por distintos factores en los que los gobiernos deben replantear



estrategias para incidir en buscar alternativas menos contaminantes (U.S. Energy Information Administration, 2019).

**b3. Crecimiento poblacional:** que correlaciona a la demanda de energéticos, posibilitando que las energías renovables atiendan esa necesidad, escenarios a 2050-2100, plantean un crecimiento poblacional mundial importante en el que la energía renovable tendrá un desarrollo significativo pero insuficiente para atender las necesidades y requerimientos energéticos de la población y de la industria (Khan et al., 2021; U.S. Energy Information Administration, 2019).

**b4. Aceptación social:** rechazo o falta de aceptación social hacia una energía renovable ya sea por desconocimiento, disponibilidad o por falta de información sobre las bondades de su uso (Asante et al., 2020; Ghimire & Kim, 2018; Martinez, 2020).

Barreras económicas:

**b5. Competitividad con otros combustibles:** específicamente con relación a los combustibles fósiles, para lograr su sustitución o su reducción requiere entre otros factores de su adecuada disponibilidad, de un precio competitivo, de un mayor rendimiento en relación a los fósiles y de condiciones tecnológicas y de infraestructura para su aprovechamiento (Seetharaman et al., 2019).

**b6. Subsidios gubernamentales:** pueden ir desde incentivos hasta descuentos tarifarios y aplicarse de forma directa e indirecta, para que el gobierno apoye o promueva la transición al uso de energías renovables (Asante et al., 2020; Seetharaman et al., 2019).

**b7. Financiamiento:** para empresas que desarrollan proyectos e inversiones tecnológicas o bien para potenciar el crecimiento y desarrollo de la industria (Asante et al., 2020; Seetharaman et al., 2019).

**b8. Tamaño mercado:** es un factor que puede limitar la entrada y expansión de las energías renovables. La industria influye para que ese mercado sea atractivo para propiciar que los renovables presenten un crecimiento permanente (Asante et al., 2020; Ghimire & Kim, 2018).

**b9. Inversión inicial:** es alta la inversión inicial para la industria ante el riesgo e incertidumbre asociado con el desarrollo de proyectos en los que existe incertidumbre en el eventual uso de energías renovables y en su costeabilidad-rentabilidad en el tiempo (Asante et al., 2020; Luthra et al., 2015; Seetharaman et al., 2019).

**b10.** Tarifa competitiva: el uso intensivo de las energías renovable se ve afectado por el costo que tiene y su precio con relación a otras alternativas energéticas (Asante et al., 2020; Moshiri & Martinez Santillan, 2018; Shah et al., 2019).

Barreras tecnológicas:

**b11.** Infraestructura: la falta de infraestructura del país y del sector industrial para el aprovechamiento de la energía renovable y su potencial explotación. La transición energética depende en gran medida de las condiciones físicas y tecnológicas que el país ofrece para el aprovechamiento de los renovables (Asante et al., 2020; Seetharaman et al., 2019).

**b12.** Investigación y desarrollo: al contar con recursos naturales y materia prima se requiere desarrollo e investigación que permita el crecimiento tecnológico o bien adquirirla de otras naciones (Seetharaman et al., 2019).

**b13.** Recursos humanos: la falta de recurso humano especializado en el uso de tecnologías renovables, con la capacidad de operar las tecnologías de energías renovables disponibles (Asante et al., 2020; Shah et al., 2019).

**b14.** Complejidad tecnológica: intrínsecamente asociada a las dificultades que enfrenta la industria para adaptarse a los requerimientos y características al transitar a la energía renovable (Asante et al., 2020; Diezmartínez, 2021; Seetharaman et al., 2019).

**b15.** Confiabilidad en la generación: la Secretaría de Energía señala sobre la intermitencia de la generación solar y eólica, pone en riesgo la confiabilidad del sistema eléctrico, ante ello, la industria requiere de un energético que garantice su confiabilidad y estabilidad (Navarro Chávez, 2019; Ramos Gutierrez & Montenegro Fragoso, 2019).

**b16.** Consumo industrial: se prevé que el sector industrial y el de transporte serán los mayores consumidores de energía a nivel mundial, sus requerimientos y necesidades dependerá el dominio en la demanda de un determinado combustible e integración del mix energético futuro (U.S. Energy Information Administration, 2019).

Barreras políticas-regulatorias:

**b17.** Comisión Reguladora: actualmente la Comisión Reguladora de Energía (CRE) ha propiciado una reducción de permisos a privados en cuanto a actividades energéticas, estos

factores de tipo político y regulatorios influyen en la dinámica de consumo de la industria, en los límites y restricciones que deben seguir (Mirza et al., 2009; OECD, 2017).

**b18.** Política energética 2024: el gobierno actual otorga preeminencia a la operación de actores que desarrollan sus actividades mediante el uso de combustibles fósiles (petróleo, gas natural, combustóleo y carbón), inercialmente el sector industrial depende de manera importante de esta energía, pero el crecimiento en la demanda energética podría cubrirse transitando a energías renovables (Bonilla & Cordero, 2019; Gobierno de México, 2019; Seetharaman et al., 2019).

**b19.** Autosuficiencia energética: el gobierno de México anunció una posible reforma para garantizar la autosuficiencia de energía (Bonilla & Cordero, 2019; CEPAL. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2018).

**b20.** Marco regulatorio: los actores privados lo consideran inadecuado por las implicaciones de la soberanía energética y de alta incertidumbre (Asante et al., 2020; Bonilla & Cordero, 2019; González-López & Giampietro, 2018).

### 3.2. Etapa 2: Identificación de las relaciones contextuales y construcción de la matriz de adyacencia

En esta etapa, se identificaron las relaciones contextuales a partir de la retroalimentación de 5 expertos del sector energético en la comparativa entre cada uno de los pares de las 20 barreras, toda vez que el planteamiento según la metodología ISM-MICMAC consistió en determinar la influencia o no de una barrera sobre otras. Se consideró para construir la matriz de adyacencia la regla de facto del uso de los cuatro símbolos, V, A, X y O (tabla 1).

Puede distinguirse que b5 (competitividad combustibles) es la barrera que presenta el mayor número de relaciones, que en su mayor parte denotan que es influenciada por otras barreras.

### 3.3. Etapa 3. Desarrollando la matriz de transitividad

La matriz de transitividad inicial se obtiene reemplazando los símbolos de relación V, A, X y O en la matriz de adyacencia por sus respectivos valores binarios (0 o 1) bajo las reglas descritas. La matriz de transitividad final (tabla 2), se obtuvo con apoyo de la herramienta computacional Maple ver 2020.1.

Tabla 1. Matriz de adyacencia

| B   | b1 | b2 | b3 | b4 | b5 | b6 | b7 | b8 | b9 | b10 | b11 | b12 | b13 | b14 | b15 | b16 | b17 | b18 | b19 | b20 |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| b1  | X  | I  | X  | I  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | I   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| b2  |    | X  | V  | V  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| b3  |    |    | X  | V  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | X   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| b4  |    |    |    | X  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | I   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| b5  |    |    |    |    | X  | V  | V  | V  | 0  | V   | V   | V   | V   | V   | 0   | 0   | V   | 0   | V   | V   |
| b6  |    |    |    |    |    | X  | I  | 0  | 0  | I   | 0   | I   | 0   | 0   | 0   | I   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| b7  |    |    |    |    |    |    | X  | 0  | I  | X   | 0   | I   | 0   | 0   | 0   | X   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| b8  |    |    |    |    |    |    |    | X  | V  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| b9  |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | 0   | I   | I   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| b10 |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X   | V   | V   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| b11 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     | X   | I   | 0   | X   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| b12 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     | X   | X   | X   | I   | X   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| b13 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     | X   | X   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| b14 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     | X   | X   | I   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| b15 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     | X   | 0   | 0   | V   | V   | V   |
| b16 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     | X   | 0   | 0   | V   | 0   |
| b17 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     | X   | V   | V   | X   |
| b18 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     | X   | X   | X   |
| b19 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     | X   | X   |
| b20 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | X   |

Fuente: elaboración propia. V: B i influye a B j; A: B j influye a B i; X: B i y B j se influyen mutuamente; y O: B i y B j no están relacionados.

Dos de los factores tienen la mayor cantidad de relaciones indirectas b17 (comisión reguladora) y b18 (política energética 2024), mientras que b2 (consumo poblacional) y b5 (competitividad combustibles) son quienes presentan la menor cantidad de relaciones directas y transitivas.

### 3.4. Etapa 4. Estructura jerárquica: partición de la matriz de transitividad y modelo ISM

En esta etapa, la Matriz de transitividad final se subdivide iterativamente de acuerdo a la accesibilidad y antecedente de cada una de las barreras, clasificándolas en un nivel jerárquico. El conjunto de intersección son las barreras comunes incluidos en los conjuntos de accesibilidad y antecedentes. En caso de que este conjunto contenga las mismas barreras que las de accesibilidad se jerarquiza en el nivel que le corresponda según la iteración y se descarta del resto de las iteraciones en caso de ser necesarias (tabla 3).

Tabla 2. Matriz de transitividad final

| B   | b1 | b2 | b3 | b4 | b5 | b6 | b7 | b8 | b9 | b10 | b11 | b12 | b13 | b14 | b15 | b16 | b17 | b18 | b19 | b20 | Pin |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| b1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1* | 0  | 1* | 1* | 1* | 1*  | 1*  | 1*  | 1*  | 1*  | 1*  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 15  |
| b2  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   |
| b3  | 1  | 1  | 1  | 1* | 1* | 0  | 1* | 1* | 1* | 1*  | 1*  | 1*  | 1*  | 1*  | 1*  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 15  |
| b4  | 1* | 1  | 1  | 1  | 1* | 0  | 1* | 1* | 1* | 1*  | 1*  | 1*  | 1*  | 1*  | 1*  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 15  |
| b5  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   |
| b6  | 1* | 1* | 1* | 1* | 1  | 1  | 1  | 1* | 1* | 1   | 1*  | 1   | 1*  | 1*  | 1*  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 16  |
| b7  | 1* | 1* | 1* | 1* | 1  | 0  | 1  | 1* | 1  | 1   | 1*  | 1   | 1*  | 1*  | 1*  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 15  |
| b8  | 1* | 1* | 1* | 1* | 1  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2   |
| b9  | 1* | 1* | 1* | 1* | 1* | 0  | 1* | 1  | 1  | 1*  | 1   | 1   | 1*  | 1*  | 1*  | 1*  | 0   | 0   | 0   | 0   | 15  |
| b10 | 1* | 1* | 1* | 1* | 1* | 0  | 1  | 1* | 1* | 1   | 1*  | 1*  | 1*  | 1*  | 1*  | 1*  | 0   | 0   | 0   | 0   | 15  |
| b11 | 1* | 1* | 1* | 1* | 1* | 0  | 1* | 1* | 1* | 1   | 1   | 1   | 1*  | 1   | 1*  | 1*  | 0   | 0   | 0   | 0   | 15  |
| b12 | 1* | 1* | 1* | 1* | 1  | 0  | 1* | 1* | 1* | 1   | 1*  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 15  |
| b13 | 1* | 1* | 1* | 1* | 1  | 0  | 1* | 1* | 1* | 1*  | 1*  | 1   | 1   | 1   | 1*  | 1*  | 0   | 0   | 0   | 0   | 15  |
| b14 | 1* | 1* | 1* | 1* | 1  | 0  | 1* | 1* | 1* | 1*  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 15  |
| b15 | 1* | 1* | 1* | 1* | 1* | 0  | 1* | 1* | 1* | 1*  | 1*  | 1*  | 1*  | 1   | 1   | 1*  | 0   | 0   | 0   | 0   | 15  |
| b16 | 1* | 1* | 1  | 1* | 1* | 0  | 1  | 1* | 1* | 1*  | 1*  | 1   | 1*  | 1*  | 1*  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 15  |
| b17 | 1* | 1* | 1* | 1* | 1  | 0  | 1* | 1* | 1* | 1*  | 1*  | 1*  | 1*  | 1*  | 1*  | 1*  | 1   | 1*  | 1*  | 1   | 19  |
| b18 | 1* | 1* | 1* | 1* | 1* | 0  | 1* | 1* | 1* | 1*  | 1*  | 1*  | 1*  | 1*  | 1   | 1*  | 1   | 1   | 1   | 1   | 19  |
| b19 | 1* | 1* | 1* | 1* | 1  | 0  | 1* | 1* | 1* | 1*  | 1*  | 1*  | 1*  | 1*  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 19  |
| b20 | 1* | 1* | 1* | 1* | 1  | 0  | 1* | 1* | 1* | 1*  | 1*  | 1*  | 1*  | 1*  | 1   | 1*  | 1   | 1   | 1   | 1   | 19  |
| Ped | 17 | 18 | 17 | 17 | 19 | 1  | 17 | 18 | 17 | 17  | 17  | 17  | 17  | 17  | 17  | 17  | 4   | 4   | 4   | 4   |     |

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Pin: Poder de influencia y Pde: Poder de dependencia.

Los valores indicados por \*representan las relaciones transitivas resultantes.

Tabla 3. Estructura jerárquica

| B       | Conjunto de Accesibilidad                        | Conjunto Antecedente                           | Conjunto Intersección          | Nive<br>l |
|---------|--|--|--------------------------------|-----------|
| b1      | 1,2,3,4,5,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16             | 1,3,4,6,7,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20   | 1,3,4,7,9,10,11,12,13,14,15,16 | 3         |
| b2      | 2  | 1,2,3,4,6,7,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20 | 2                              | 1         |
| b3      | 1,2,3,4,5,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16             | 1,3,4,6,7,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20   | 1,3,4,7,9,10,11,12,13,14,15,16 | 3         |
| b4      | 1,2,3,4,5,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16             | 1,3,4,6,7,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20   | 1,3,4,7,9,10,11,12,13,14,15,16 | 3         |
| b5      | 5  | 1,3,4,5,6,7,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20 | 5                              | 1         |
| b6      | 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16           | 6  | 6                              | 4         |
| b7      | 1,2,3,4,5,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16             | 1,3,4,6,7,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20   | 1,3,4,7,9,10,11,12,13,14,15,16 | 3         |
| b8      | 5,8  | 1,3,4,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20 | 8                              | 2         |
| b9      | 1,2,3,4,5,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16             | 1,3,4,6,7,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20   | 1,3,4,7,9,10,11,12,13,14,15,16 | 3         |
| b10     | 1,2,3,4,5,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16             | 1,3,4,6,7,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20   | 1,3,4,7,9,10,11,12,13,14,15,16 | 3         |
| b11     | 1,2,3,4,5,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16             | 1,3,4,6,7,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20   | 1,3,4,7,9,10,11,12,13,14,15,16 | 3         |
| b12     | 1,2,3,4,5,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16             | 1,3,4,6,7,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20   | 1,3,4,7,9,10,11,12,13,14,15,16 | 3         |
| b13     | 1,2,3,4,5,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16             | 1,3,4,6,7,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20   | 1,3,4,7,9,10,11,12,13,14,15,16 | 3         |
| b14     | 1,2,3,4,5,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16             | 1,3,4,6,7,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20   | 1,3,4,7,9,10,11,12,13,14,15,16 | 3         |
| b15     | 1,2,3,4,5,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16             | 1,3,4,6,7,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20   | 1,3,4,7,9,10,11,12,13,14,15,16 | 3         |
| b16     | 1,2,3,4,5,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16             | 1,3,4,6,7,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20   | 1,3,4,7,9,10,11,12,13,14,15,16 | 3         |
| b17     | 1,2,3,4,5,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20 | 17,18,19,20                                    | 17,18,19,20                    | 4         |
| b18     | 1,2,3,4,5,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20 | 17,18,19,20                                    | 17,18,19,20                    | 4         |
| b19     | 1,2,3,4,5,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20 | 17,18,19,20                                    | 17,18,19,20                    | 4         |
| b2<br>0 | 1,2,3,4,5,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20 | 17,18,19,20                                    | 17,18,19,20                    | 4         |

Fuente: elaboración propia.

Nota: Por consideración de espacio, en cada uno de los números de los conjuntos no contiene a inicio la letra b (barrera).

Son 4 los niveles estructurales; en el nivel 1 están las barreras b2 (consumo poblacional) y b5 (competitividad combustibles), mientras que en el nivel 4 están b6 (subsídios gubernamentales), b17 (Comisión Reguladora), b18 (Política energética 2024), b19 (Autosuficiencia energética) y b20 (Marco regulatorio). Esta estructura estratificada que es la base para la construcción del modelo ISM (figura 2), en un primer paso para facilidad de diagramarla es factible representarla mediante grafos (figura 1). El nivel inferior sugiere que estas barreras son afectadas por las barreras de los niveles más bajos, mientras que los niveles superiores indican que estas barreras situadas en la parte inferior de la jerarquía pueden ejercer una mayor influencia en la transición industrial hacia la economía circular. Las barreras en los niveles intermedios influyen en las de nivel superior, pero también son influidas por las de los niveles inferiores.

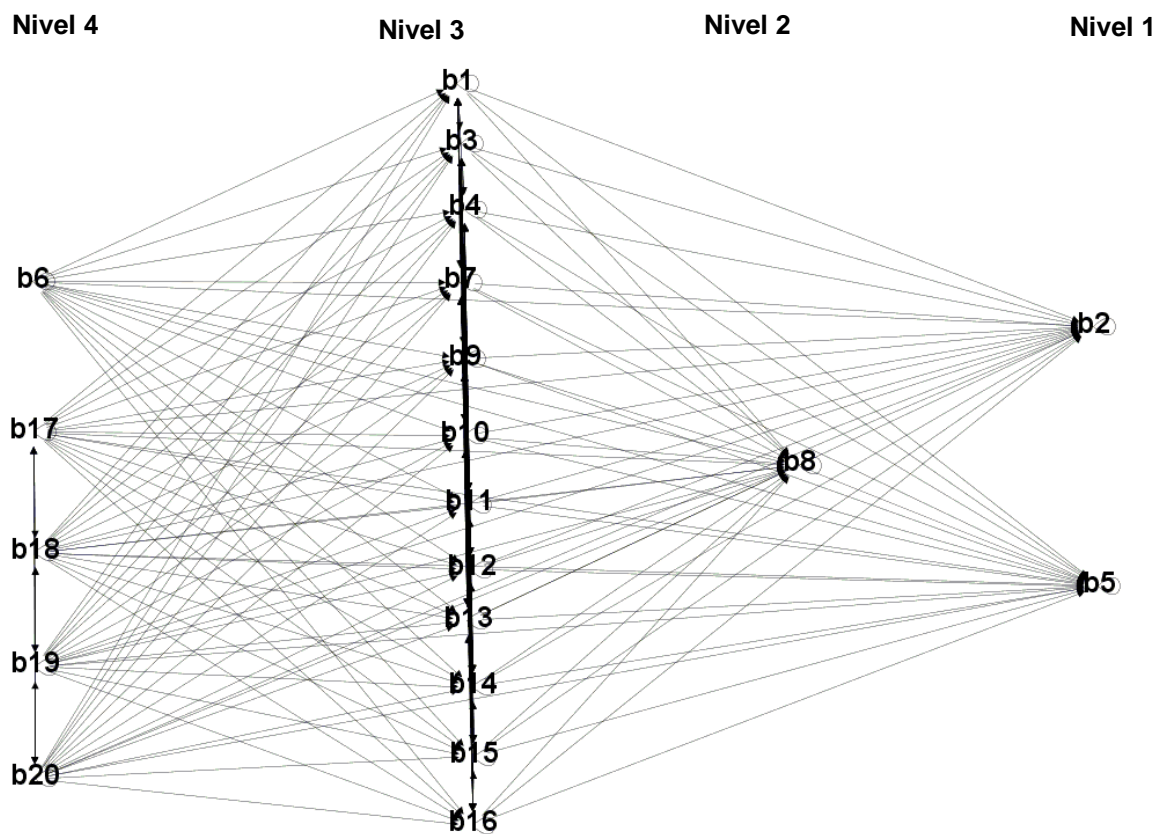


Figura 1. Grafo jerárquico basado en las barreras energéticas  
Fuente: Elaboración propia con Gephi ver 0.9.2.



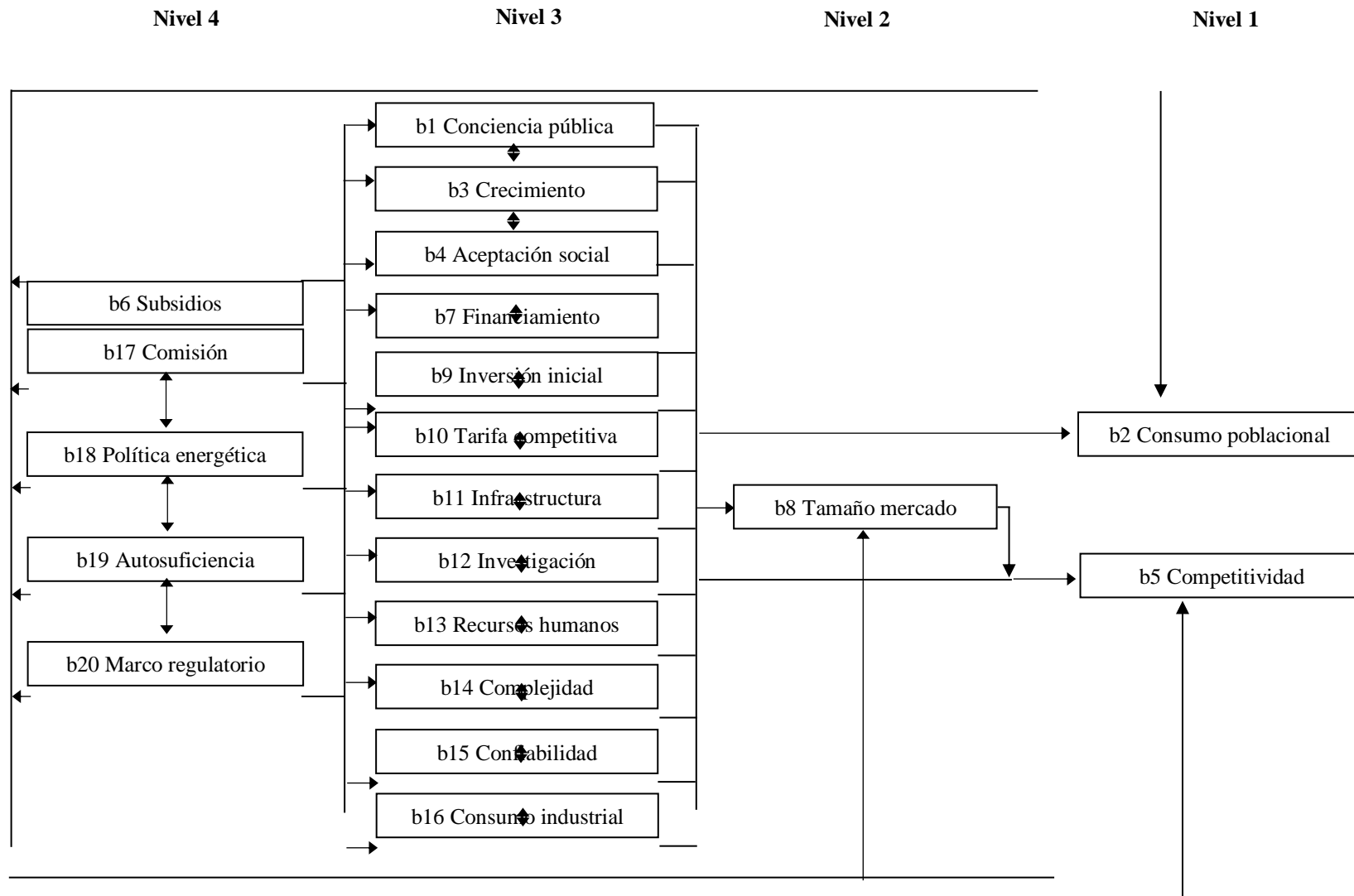


Figura 2. Modelo ISM basado en las barreras energéticas  
 Fuente: Elaboración propia.

Se observa que la barrera b5 (competitividad combustible) a diferencia de la b2 (consumo poblacional) ambas del nivel 1, es influenciada por todas las barreras de los niveles inferiores, sólo es la barrera b8 (tamaño mercado) la que diferencialmente influye sobre b5 y no en b2. En tanto que, las barreras b17 (comisión reguladora), b18 (política energética 2024), b19 (autosuficiencia energética) y b20 (marco regulatorio) todas de carácter político-regulatorias, se interrelacionan entre sí y se encuentran en el nivel 4, también en este mismo nivel está una barrera económica b6 (subsidijs gubernamentales) pero que no se relaciona con alguna de las político-regulatorias. En conjunto estas barreras influyen en todas las demás y no reciben influencia de otras que no sean del nivel 4. Mientras que, b8 (tamaño mercado) es la única barrera económica en el nivel 2 que influye sólo a b5 pero ésta última es influenciada por todas las de los niveles previos. No obstante, las barreras ubicadas en los niveles 2 y 3 o (intermedias) suelen transferir influencia al ser los puentes de niveles inferiores a superiores. Sin embargo, en esta estructura todas las barreras influyen directamente tanto en b2 (consumo poblacional) como en b5 (competitividad combustible), con excepción de b8. Es entonces que el modelo ISM presentado describe las relaciones de influencia de los factores en el sistema.

### 3.5. Etapa 5. Clasificación MICMAC

En consideración al poder de influencia y poder de dependencia obtenidos en la matriz de transitividad final (tabla 4), las 20 barreras energéticas en la transición industrial hacia la economía circular se clasificaron en autónomas, dependientes, de enlace e independientes (figura 3).

Las barreras b17 (comisión reguladora), b18 (política energética 2024), b19 (autosuficiencia energética) b20 (marco regulatorio) y b6 (subsidijs gubernamentales) son independientes, tienen alto poder de influencia y bajo poder de dependencia, son a las que se les debe considerar la mayor atención, estas barreras se encuentran de igual forma en el nivel 4 del modelo jerárquico. Mientras que, las barreras b2 (consumo poblacional), b5 (competitividad combustible) y b8 (tamaño de mercado) son barreras dependientes, tienen bajo poder de influencia y alto poder de dependencia por lo que reciben influencia de la mayoría de las barreras y en el caso de b5 de todas. El resto de las barreras son de enlace por tanto tienen alto poder de

influencia y alto poder de dependencia, cualquier acción sobre ellas tendrá un efecto sobre las demás y sobre ellas mismas.

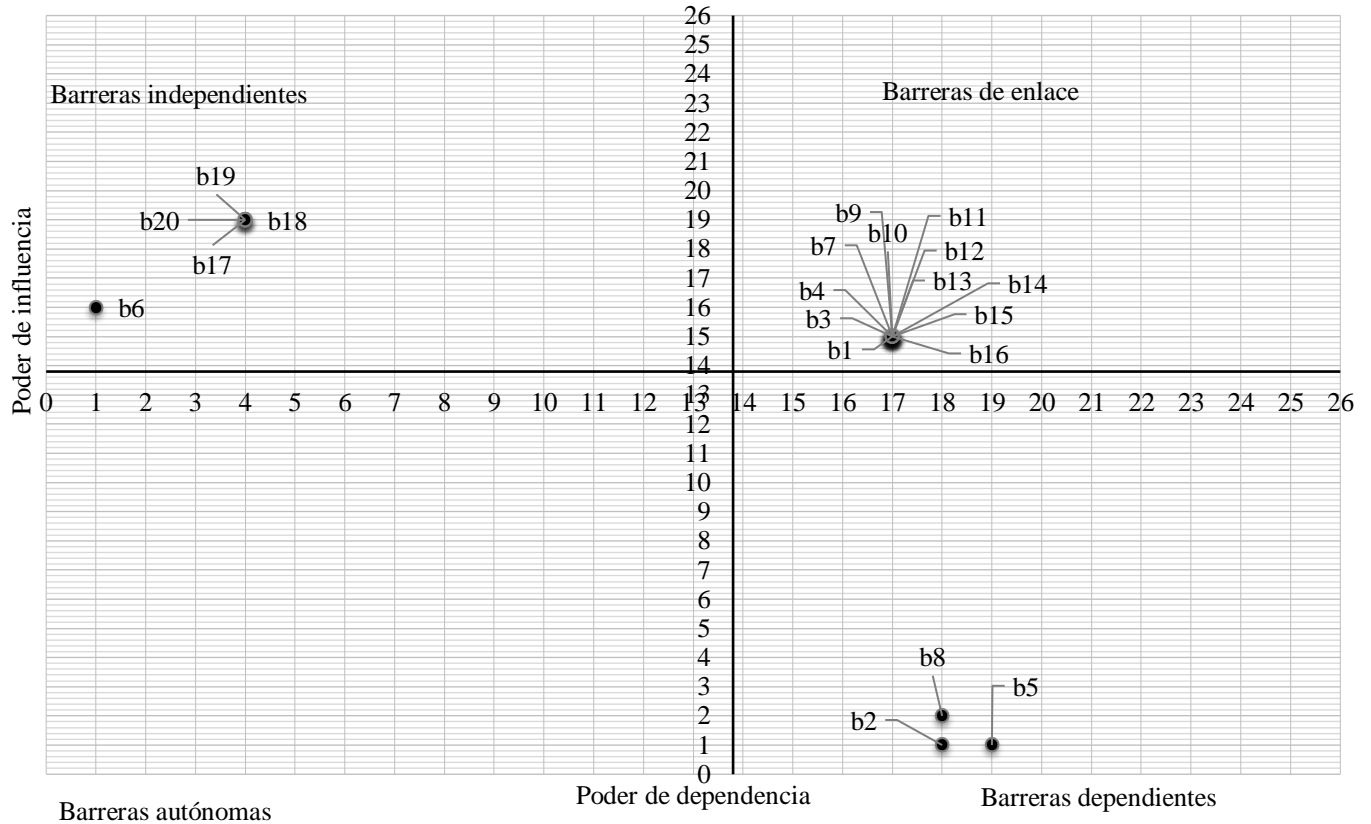


Figura 3. Factores estratificados en poder de influencia / dependencia  
 Fuente: Elaboración propia.

Cualquier estrategia diseñada para las barreras independientes y/o de enlace, en consecuencia, influirá en las dependientes. Los resultados de MICMAC e ISM se complementan y conjuntamente orientan sobre las estrategias a implementarse (tabla 4).

Tabla 4. Estrategias en energía renovable para la transición industrial circular

| Barreras energéticas en la transición industrial a la circularidad |   | Estrategias  |
|--|---|--|
| Independientes   | b17 (comisión reguladora), b18 (política energética 2024), b19 (autosuficiencia energética) b20 (marco regulatorio) y b6 (subsidios gubernamentales)  | Favorecer con mecanismos controlados la apertura de generación de energías renovables.<br>Impulsar el desarrollo de energías renovable, especialmente la generada a través de biomasa.<br>Implementar estímulos fiscales para inversionistas de energías renovables.<br>Reducir la carga tributaria a aquellas industrias que demuestren generación o consumo de energía renovable en sus flujos productivos.  |
|  | b1 (conciencia pública), b3 (crecimiento poblacional), b4 (aceptación social), b7 (financiamiento), b9 (inversión inicial), b10 (tarifa competitiva), b11 (infraestructura), b12 (investigación y desarrollo), b13 (recursos humanos), b14 (complejidad tecnológica), b15 (confiabilidad generación) y b16 (consumo industrial) | Concientizar a la población de los beneficios ambientales de las empresas con prácticas circulares en energías limpias.<br>Crear mecanismos financieros para la inversión público-privada en el desarrollo compartido de infraestructura.<br>Impulsar el apoyo científico y tecnológico a alternativas de generación de energía renovable a partir de biomasa.<br>Alentar el desarrollo de personal especializado en el manejo de tecnologías de generación de energía renovable.<br>Apoyo financiero y técnico inicial por parte del gobierno a proyectos de optimización de consumo de energía en la circularidad de las industrias. |
|  | b2 (consumo poblacional), b5 (competitividad combustibles) y b8 (tamaño de mercado)   | Promover ante la población el uso y consumo de energías renovables en la circularidad de las industrias.<br>Incentivar la competitividad en la generación de energía renovables, particularmente en la generación de biocombustibles.  |

Fuente: Elaboración propia.

## Conclusiones

Uno de los pilares de la economía circular es la transición a energías renovables, ante ello, el sector industrial como uno de los de mayor consumo de energía a nivel global es imperante transite a la adopción de prácticas circulares. Es por ello, que los incipientes modelos que proponen cuantificar el grado de circularidad en las organizaciones han empezado a considerar la participación de las energías renovables en los procesos productivos además del ciclo de vida de los materiales por su conceptualización per se. Sin embargo, las barreras que inhiben la transición industrial hacia la economía circular son de carácter político regulatorias. En tanto,

que las estrategias para superarlas deben basarse en un diálogo permanente con los representantes gubernamentales para externar la necesidad de transitar a un modelo circular y con ello a la generación y consumo de energías más limpias, se requiere de un permanente acercamiento con el poder legislativo para promover el establecimiento de un marco jurídico fundamentado en las mejores prácticas internacionales que promueva la transición en la adaptación de nuevas energías mientras que, al interior de la propia industria se concientice sobre los beneficios sustentables de la adopción y uso intensivo de energía renovable en los flujos productivos como uno de los principios fundamentales de la economía circular.

La transición a una economía circular y con un uso intensivo de un mix energético basado principalmente en energías renovables, no es tan acelerado como se espera, no obstante, se han dado avances y uno de los retos centrales para los gobiernos es identificar las barreras que obstruyen dicha transición, en el caso de México, las decisiones desde el poder ejecutivo direccionan la política energética de corto, mediano y largo plazo; la adopción de modelos de economía circular dependen de multiplicidad de factores, pero la presión internacional y los acuerdos transversales convocados por organismos internacionales condicionan a los gobiernos a reorientar estrategias y acciones para reducir los efectos perniciosos en el medio ambiente; una vez identificadas las barreras, es posible establecer estrategias coordinadas para su atención y con ello, tener una comprensión integral del problema para incentivar y acelerar la transición a la economía circular.

## Referencias

- Agrawal, N. M. (2019). Modeling Deming's quality principles to improve performance using interpretive structural modeling and MICMAC analysis. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 36(7), 1159–1180. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-07-2018-0204>
- Araujo Galvão, G. D., De Nadae, J., Clemente, D. H., Chinen, G., & De Carvalho, M. M. (2018). Circular Economy: Overview of Barriers. *Procedia CIRP*, 73, 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.04.011>
- Arcade, J., Godet, M., Meunier, F., & Roubelat, F. (2004). Análisis estructural con el método Micmac y estrategia de los actores con el método Mactor. In *Futures Research Methodology, Version 1.0*.

- Asante, D., He, Z., Adjei, N. O., & Asante, B. (2020). Exploring the barriers to renewable energy adoption utilising MULTIMOORA-EDAS method. *Energy Policy*, 142. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111479>
- Bilal, M., Khan, K. I. A., Thaheem, M. J., & Nasir, A. R. (2020). Current state and barriers to the circular economy in the building sector: Towards a mitigation framework. *Journal of Cleaner Production*, 276. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123250>
- Bonilla, C. S., & Cordero, J. M. (2019). La dimensión jurídica de la energía eléctrica y las energías renovables en México. *Revista Digital de Derecho Administrativo*, 22, 299–333. <https://doi.org/10.18601/21452946.n22.12>
- Boons, F., Chertow, M., Park, J., Spekkink, W., & Shi, H. (2017). Industrial Symbiosis Dynamics and the Problem of Equivalence: Proposal for a Comparative Framework. *Journal of Industrial Ecology*, 21(4), 938–952. <https://doi.org/10.1111/jiec.12468>
- CEPAL. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2018). Seguridad energética: análisis y evaluación del caso de México. *Serie Estudios y Perspectivas*, N° 179.
- Chander, M., Jain, S. K., & Shankar, R. (2013). Modeling of information security management parameters in Indian organizations using ISM and MICMAC approach. *Journal of Modelling in Management*, 8(2), 171–189. <https://doi.org/10.1108/JM2-10-2011-0054>
- Corona, B., Shen, L., Reike, D., Rosales Carreón, J., & Worrell, E. (2019). Towards sustainable development through the circular economy—A review and critical assessment on current circularity metrics. *Resources, Conservation and Recycling*, 151(September 2019), 104498. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104498>
- de Wit, M., Hoogzaad, J., & von Daniels, C. (2020). *The Circularity Gap Report 2020*.
- del Pilar, E. C., Alegado, I., & Bongo, M. F. (2019). Structural relationships among critical failure factors of microbusinesses. *Journal of Small Business and Enterprise Development*, 27(1), 148–174. <https://doi.org/10.1108/JSBED-01-2019-0001>
- Diezmartínez, C. V. (2021). Clean energy transition in Mexico: Policy recommendations for the deployment of energy storage technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135(June 2020), 110407. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110407>
- Dube, A. S., & Gawande, R. S. (2016). Analysis of green supply chain barriers using integrated ISM-fuzzy MICMAC approach. *Benchmarking*, 23(6), 1558–1578. <https://doi.org/10.1108/BIJ-06-2015-0057>
- Elia, V., Gnoni, M. G., & Tornese, F. (2017). Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2741–2751.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.196>

Elia, V., Gnoni, M. G., & Tornese, F. (2020). Evaluating the adoption of circular economy practices in industrial supply chains: An empirical analysis. *Journal of Cleaner Production*, 273, 122966. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122966>

Ellen MacArthur Foundation. (2014). Towards the Circular Economy vol.3: accelerating the scale-up across global supply chains. In *Ellen MacArthur Foundation (EMF)*.

Ellen MacArthur Foundation. (2015a). *Circular Indicators: an approach to measuring circularity. Methodology*.

Ellen MacArthur Foundation. (2015b). Growth within: a circular economy vision for a competitive europe. *Ellen MacArthur Foundation*, 100.

Ellen MacArthur Foundation. (2015c). Towards a Circular Economy: Business Rationale for an Accelerated Transition. *Ellen MacArthur Foundation (EMF)*, 20.

Ellen MacArthur Foundation. (2020). *Financing the circular economy: Capturing the opportunity*.

Ellen MacArthur Foundation. (2019). How The Circular Economy Tackles Climate Change. *Ellen MacArthur Foundation, September*, 1–62.

European Environment Agency Report. (2016). Circular economy in Europe - developing the knowledge base (European Environment Agency Report No 2/2016). In *Publication Office of the European Union (Issue 2)*. <https://doi.org/10.2800/51444>

Gan, X., Chang, R., Zuo, J., Wen, T., & Zillante, G. (2018). Barriers to the transition towards off-site construction in China: An Interpretive structural modeling approach. *Journal of Cleaner Production*, 197, 8–18. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.184>

Geng, Y., 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(1), 216–224. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.07.005>

Ghimire, L. P., & Kim, Y. (2018). An analysis on barriers to renewable energy development in the context of Nepal using AHP. *Renewable Energy*, 129, 446–456. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.011>

Gobierno de México. (2019). Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. *Diario Oficial de La Federación*, 1–75.

Godet, M., Durance, P., & Gerber, A. (2013). Strategic Foresight La Prospective Use and Misuse of Scenario Building. *The Circle of Future Entrepreneurs*, 65(1), 421.



<https://doi.org/10.1057/9781137293503>

González-López, R., & Giampietro, M. (2018). Relational analysis of the oil and gas sector of Mexico: Implications for Mexico's energy reform. *Energy*, 154, 403–414. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.04.134>

Govindan, K., & Hasanagic, M. (2018). A systematic review on drivers, barriers, and practices towards circular economy: a supply chain perspective. *International Journal of Production Research*, 56(1–2), 278–311. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1402141>

IEA, IRENA, UNSD, World Bank, & WHO. (2020). Tracking SDG 7: The Energy Progress Report. *World Bank*, 176. <https://trackingsdg7.esmap.org/>

IPCC. (2018). Proposed outline of the special report in 2018 on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate cha. *Ippc - Sr15*, 2(October), 17–20.

IRENA (2020a). Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050. In *International Renewable Energy Agency*.

IRENA. (2020b). *Reaching zero with renewables: Eliminating CO2 emissions from industry and transport in line with the 1.5°C climate goal*. 216.

Kalchenko, O., Evseeva, S., Evseeva, O., & Plis, K. (2019). Circular economy for the energy transition in Saint Petersburg, Russia. *E3S Web of Conferences*, 110. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911002030>

Khan, I., Hou, F., & Le, H. P. (2021). The impact of natural resources, energy consumption, and population growth on environmental quality: Fresh evidence from the United States of America. *Science of the Total Environment*, 754, 142222. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142222>

Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018a). Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, 143, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>

Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018b). Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, 143, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>

Luthra, S., Kumar, S., Garg, D., & Haleem, A. (2015). Barriers to renewable/sustainable energy technologies adoption: Indian perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 762–776. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.077>

Luthra, S., Kumar, S., Kharb, R., Ansari, M. F., & Shimmi, S. L. (2014). Adoption of smart grid technologies: An analysis of interactions among barriers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,

33, 554–565. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.02.030>

Martinez, N. (2020). Resisting renewables: The energy epistemics of social opposition in Mexico. *Energy Research and Social Science*, 70(May), 101632. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101632>

Mirza, U. K., Ahmad, N., Harijan, K., & Majeed, T. (2009). Identifying and addressing barriers to renewable energy development in Pakistan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(4), 927–931. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.11.006>

Moshiri, S., & Martinez Santillan, M. A. (2018). The welfare effects of energy price changes due to energy market reform in Mexico. *Energy Policy*, 113(September 2017), 663–672. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.11.035>

Navarro Chávez, J. C. L. (2019). La Eficiencia del Sector Eléctrico en México 2008-2015. *Análisis Económico*, 34(85), 71–94. <https://doi.org/10.24275/uam/azc/dcsh/ae/2019v34n85/navarro>

Nuñez-Cacho, P., Górecki, J., Molina-Moreno, V., & Corpas-Iglesias, F. A. (2018). What gets measured, gets done: Development of a Circular Economy measurement scale for building industry. *Sustainability (Switzerland)*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/su10072340>

OECD. (2017). *Driving Performance at Mexico's Energy Regulatory Commission*.

Ramesh, A., Banwet, D. K., & Shankar, R. (2010). Modeling the barriers of supply chain collaboration. *Journal of Modelling in Management*, 5(2), 176–193. <https://doi.org/10.1108/17465661011061014>

Ramos Gutierrez, L. de J., & Montenegro Fragoso, M. (2019). A New Way to Reduce Electrical Intermittency in a Sustainable Way, Case Study: A Pumped Storage Reservoir-Solar Hybrid System in Mexico. *Ingenieria*, 24(3), 209–223.

Sagheer, S., Yadav, S. S., & Deshmukh, S. G. (2009). An application of interpretative structural modeling of the compliance to food standards. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 58(2), 136–159. <https://doi.org/10.1108/17410400910928734>

Seetharaman, Moorthy, K., Patwa, N., Saravanan, & Gupta, Y. (2019). Breaking barriers in deployment of renewable energy. *Heliyon*, 5(1), e01166. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01166>

Shah, S. A. A., Solangi, Y. A., & Ikram, M. (2019). Analysis of barriers to the adoption of cleaner energy technologies in Pakistan using Modified Delphi and Fuzzy Analytical Hierarchy Process. *Journal of Cleaner Production*, 235, 1037–1050. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.020>

Shen, L., Song, X., Wu, Y., Liao, S., & Zhang, X. (2016). Interpretive Structural Modeling based

factor analysis on the implementation of Emission Trading System in the Chinese building sector. *Journal of Cleaner Production*, 127, 214–227. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.151>

Suárez-Eiroa, B., Fernández, E., Méndez-Martínez, G., & Soto-Oñate, D. (2019). Operational principles of circular economy for sustainable development: Linking theory and practice. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 214, pp. 952–961). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.271>

Tura, N., Hanski, J., Ahola, T., Ståhle, M., Piiparinen, S., & Valkokari, P. (2019). Unlocking circular business: A framework of barriers and drivers. *Journal of Cleaner Production*, 212, 90–98. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.202>

U.S. Energy Information Administration. (2019). International Energy Outlook 2019 with projections to 2050. *Choice Reviews Online*, 85. <https://doi.org/10.5860/CHOICE.44-3624>

Unfccc. (2015). *Paris Agreement Spanish*.

Velasco-Herrejon, P., & Bauwens, T. (2020). Energy justice from the bottom up: A capability approach to community acceptance of wind energy in Mexico. *Energy Research and Social Science*, 70(July), 101711. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101711>

Wang, G. H., Wang, Y. X., & Zhao, T. (2008). Analysis of interactions among the barriers to energy saving in China. *Energy Policy*, 36(6), 1879–1889. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.02.006>

World Business Council For Sustainable Development. (2019). *Circular Transition Indicators*. July, 40.

Xu, X., & Zou, P. X. W. (2020). Analysis of factors and their hierarchical relationships influencing building energy performance using interpretive structural modelling (ISM) approach. *Journal of Cleaner Production*, 272, 122650. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122650>