



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **Desarrollo de un modelo para la caracterización del desempeño energético de sectores industriales colombianos**

**David Bernardo Rojas Rodríguez**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas  
Bogotá, Colombia

2019



# **Lineamientos para la caracterización del desempeño energético de sectores industriales colombianos**

**David Bernardo Rojas Rodríguez**

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:  
**MsC en Ingeniería Industrial**

Director (a):  
MsC Omar Prias

Grupo de Investigación en el Sector Energético Colombiano  
GRISEC

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas  
Bogotá, Colombia

2019



*You can't connect the dots looking forward; you can only connect them looking backwards. So you have to trust that the dots will somehow connect in your future. You have to trust in something – your gut, destiny, life, karma, whatever.*

*Steve Jobs*



# Agradecimientos

A mi familia, que me dio lo fundamental: educación y valores, además de un constante apoyo.

Al ing. Omar Prias como director del grupo de investigación en el Sector Energético Colombiano (GRISEC) y director del presente trabajo, quien me ha permitido orientar mis capacidades hacia la generación de aportes en el ámbito de la gestión energética. A los miembros y colaboradores del grupo GRISEC quienes enriquecieron el presente trabajo por medio de sus insumos en el trabajo diario.

A cada una de las personas que me dieron consejos, guías, retroalimentación y motivación para culminar este importante proceso.

Un agradecimiento especial para Carlos Moreno cuyos comentarios en calidad de asesor fueron cruciales para definir elementos de orientación en este trabajo.

Dentro de mis colegas y compañeros de trabajo un especial agradecimiento a Claudia Rincón, Diana Montaña, Luis de la Rosa, Alejandro Fraga, Deissy Estupiñán y Oscar Caicedo por su interés, retroalimentación, apoyo y valiosos consejos.

A Deissy y Leito por su amor, paciencia, apoyo y por facilitarme espacios de reflexión.





## Resumen

En las últimas décadas la evolución de los modelos empresariales y las preocupaciones ambientales han fomentado cambios en el análisis del desempeño energético de las industrias para incluir aspectos organizacionales y del entorno. La extensión de este enfoque al ámbito de sectores industriales permite una visión integral del concepto, para facilitar estrategias enfocadas en optimizar el potencial de aprovechamiento de la energía a nivel de sector o de país. Este cambio de visión requiere una revisión de las metodologías usadas tradicionalmente en la medición energética de los sectores, para incluir elementos que permitan valorar integralmente el desempeño energético. Bajo este contexto, el presente trabajo plantea complementar la visión los estudios actuales sobre la dimensión energética de los sectores industriales colombianos, a través de un modelo que permita involucrar aspectos de estructura organizacional, competencias del personal y capacidades de soporte al desempeño energético. El planteamiento toma como base la definición de desempeño energético de la norma ISO 50001, que refiere resultados cuantificables relacionados con el uso de la energía, el consumo de la energía y la eficiencia energética. El modelo se valida a través de una muestra de empresas beneficiarias del programa de fortalecimiento de la Red Colombiana de Conocimiento en Eficiencia Energética, RECIEE. Las recomendaciones finales se orientan a la inclusión de nuevos elementos en las fuentes de información usadas en Colombia para caracterizar energéticamente la industria y acciones complementarias para ser adelantadas desde entidades de apoyo al ámbito sectorial.

**Palabras clave:** Desempeño energético, gestión de la energía, indicadores energéticos, sectores industriales

## **Abstract**

During the last decades, the evolution of organizational models and the environmental commitments have motivated changes on the industrial energy performance analysis to include organizational and external factors of a firm. An extension of this approach to the industrial sector perspective allows an integral vision of the concept, that could ease the development of strategies focused on optimizing the achievement of energy potentials at sector or country level. This change of vision requires a review of the traditional methodologies to measure energy aspects at sectorial level, in order to include new elements that allow an integral assessment of energy performance. Under this context, the present work suggests complementing the vision provided by current works on Colombian industrial energy dimension, through a model that allows to involve aspects referred to organizational structure, competences of personnel and support aspects related to energy performance. The approach is worked under the ISO 50001 definition of energy performance, which refers to quantifiable results related to energy use, energy consumption and energy efficiency. The model is validated through a sample of benefited firms from the Colombian Energy Efficiency Knowledge Network (RECIEE), consolidation program. The final recommendations are oriented towards the inclusion of new elements on the information sources used on Colombian industry characterizations, as well as complementary actions to be carried out by stakeholders at the sectorial level.

**Keywords: Energy performance, energy management, energy indicators.**

**CONTENIDO**

	<b>Pág.</b>
<b>1. Introducción .....</b>	<b>16</b>
<b>2. Objetivos.....</b>	<b>21</b>
2.1 Objetivo General .....	21
2.2 Objetivos específicos .....	21
<b>3. Elementos que caracterizan el desempeño energético de una industria.....</b>	<b>23</b>
3.1 Uso de Indicadores energéticos en la caracterización sectorial.....	24
Pirámide de Indicadores energéticos.....	25
Tipos de indicadores energéticos .....	26
Establecimiento de indicadores sectoriales .....	29
Sistemas internacionales de indicadores de energía y eficiencia energética .....	30
indicadores energéticos de las bases ODYSSEE y BIEE .....	32
3.2 Definición de desempeño energético .....	36
3.3 Elementos organizacionales que caracterizan el desempeño energético de una industria manufacturera .....	36
La energía dentro de los procesos productivos .....	37
Impacto de los factores organizacionales de una empresa sobre su desempeño energético .....	40
El papel de la Tecnología y la innovación.....	43
<b>4. Desagregación de elementos que impactan y caracterizan el desempeño energético</b>	<b>47</b>
4.1 Clasificación de elementos que caracterizan e impactan el desempeño energético de una industria.....	47
Factores que caracterizan el desempeño energético de una organización.....	50
Factores que impactan el desempeño energético de una industria .....	51
<b>5. Revisión de estudios energéticos del sector industrial colombiano y de información complementaria.....</b>	<b>54</b>
5.1 Antecedentes nacionales .....	54
Caracterizaciones energéticas en sectores de consumo final en la industria realizadas en Colombia.....	54
Trayectoria nacional en Sistemas de Gestión de la Energía.....	61
La caracterización energética desde la metodología del Sistema de Gestión Integral de la Energía SGIE .....	63
5.2 Fuentes de información complementarias sobre la industria .....	68
Encuesta Anual Manufacturera (EAM) .....	69
Encuesta de Innovación y Desarrollo Tecnológico para el Sector Manufacturero (EDIT Manufacturera).....	69
Indicadores del consejo privado de competitividad.....	70
Información del Programa Colombia Productiva.....	70
<b>6. Planteamiento de un modelo para análisis de capacidades organizacionales en función del desempeño energético.....</b>	<b>73</b>
6.1 Análisis de brechas en los estudios nacionales.....	73

## **XII          Desarrollo de un modelo para la caracterización del desempeño energético de sectores industriales colombianos**

---

6.2	Determinación de factores que se cubrirán a través del modelo .....	76
	Enfoque metodológico de desempeño desde la Visión Basada en Recursos .....	76
	Identificación de categorías para conceptualizar los aspectos organizacionales con impacto en el desempeño energético.....	78
	Diagnóstico de disponibilidad de información secundaria .....	80
	Obtención de información de empresas del programa de consolidación de la Red RECIEE .....	81
<b>7.</b>	<b>Análisis de resultados .....</b>	<b>85</b>
7.1	Alimentación del modelo .....	85
7.2	Descripción de resultados.....	85
	Análisis de potencial de ahorro en función de las categorías organizacionales.....	85
7.3	Elaboración de perfiles sectoriales a partir de las categorías significativas para el desempeño energético .....	93
7.4	Limitaciones en la información .....	95
<b>8.</b>	<b>Recomendaciones para aplicación en el ámbito sectorial.....</b>	<b>97</b>
<b>9.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>105</b>
9.1	Conclusiones .....	105
9.2	Recomendaciones .....	106
	Recomendaciones sobre la Información y fuentes usadas actualmente en la caracterización de elementos del desempeño energético a nivel de sectores industriales colombianos.....	106
	Aportes en las líneas de trabajo del grupo GRISEC.....	107

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Pirámide de indicadores energéticos.....	26
Figura 2. Categorización de los factores que impulsan la eficiencia energética en la industria. Adaptado de (Solnørdal & Foss, 2018) .....	42
Figura 3. Elementos de una organización que caracterizan e impactan su desempeño energético .....	49
Figura 4. Metodología de trabajo con industrias programa PEN-SGIE (2010-2013). (Elaboración propia con base en la documentación del programa facilitada por el grupo de investigación GRISEC).....	66
Figura 5. Metodología de Trabajo con Empresas Beneficiarias Programa de consolidación de la Red RECIEE (2014-2018).....	67
Figura 6. Ámbito de aplicación de estudios empíricos sobre capacidades dinámicas, con base en la codificación del estado del arte de Schilke et al. (2018) .....	78
Figura 7. Diagramas de caja para comparación entre el potencial de ahorro y cada una de las variables categóricas establecidas.....	86
Figura 8. Estadísticos para el análisis de varianza de Potencial de Ahorro en función de las categorías organizacionales definidas .....	90
Figura 9. Potencial de ahorro contra empresas que reportaron existencia de un gestor energético o de una división encargada de seguimiento al desempeño energético.....	92
Figura 10. Interacción entre la existencia de un gestor energético en las categorías de interés en función del potencial de ahorros obtenidos .....	92
Figura 11. Visualización de las categorías relevantes en función del potencial de ahorro para empresas del sector alimentos .....	94
Figura 12. Visualización de las categorías relevantes en función del potencial de ahorro para empresas del sector plástico y caucho .....	94

**XIV          Desarrollo de un modelo para la caracterización del desempeño  
energético de sectores industriales colombianos**

---

Figura 13. Esquema para la interacción de entidades en función de la caracterización del desempeño energético de sectores industriales..... 101

# Lista de tablas

Pág.

Tabla 1. Información e indicadores por subsector utilizados en el programa ODYSSEE	33
<b>Tabla 2.</b> Información e indicadores manejados en la plantilla del programa BIEE.....	34
Tabla 3. Porcentajes de energía base típicos para diferentes industrias estadounidenses, clasificadas según el código Norte Americano de Sectores Industriales (NAICS).....	39
Tabla 4. Consumos específicos eléctricos y térmicos CIUU 10 a 18 (Fuente: UPME, Incombustión 2014).....	58
Tabla 5. Pasos para la implementación del SGIE según el modelo SGIE 2007.....	65
Tabla 6. Análisis de brecha frente a los factores de caracterización e impacto del desempeño energético .....	75
Tabla 7. Subcategorías seleccionadas para la caracterización de factores organizacionales en el modelo .....	79
Tabla 8. Variables de interés para el modelo encontradas en la encuesta EDIT .....	80
Tabla 9. Variables organizacionales de los informes de empresas beneficiarias analizadas .....	83
Tabla 10. Estadísticos para el análisis de varianza de Potencial de Ahorros en función de las variables categóricas definidas .....	87
Tabla 11. Estadísticos para el análisis de varianza de Potencial de Ahorro en función de las categorías organizacionales definidas .....	91
Tabla 12. Aportes metodológicos de los estudios para la cuantificación del desempeño energético de sectores manufactureros (CIUU 10-18, CIUU 19-31) .....	98

## 1.Introducción

La energía es uno de los elementos más importantes para la satisfacción de las necesidades humanas. Aunque ha estado presente en todas las etapas de la historia, el rápido incremento en su uso a partir del inicio de la era industrial ha hecho que en la actualidad represente uno de los factores determinantes para la economía mundial.

Los conceptos asociados al aprovechamiento óptimo de la energía han cambiado en el tiempo respondiendo a aspectos como las necesidades de desarrollo de los países, la disponibilidad y acceso a los recursos de generación, los avances tecnológicos y las preocupaciones ambientales. Cada una de estas perspectivas ha generado nuevas necesidades de información para apoyar la toma de decisiones energéticas a nivel de gobiernos, subsectores de consumo y usuarios finales de la energía.

La concepción actual sobre el uso de la energía ha sido definida por hitos que tuvieron lugar en las décadas de los años setenta y noventa del siglo veinte. En la primera, la crisis del petróleo hizo evidentes las consecuencias que la falta de acceso a los recursos energéticos puede generar en la economía y, en consecuencia, en la calidad de vida de la población mundial. En los años noventa, el paradigma del desarrollo sostenible amplió la discusión hacia el ámbito ambiental y social, generando mayores presiones por la preservación de los recursos que se integraron a las preocupaciones por la seguridad energética. Hoy, el uso adecuado de la energía representa tanto una necesidad de seguridad para los países, como un factor de atención para individuos y organizaciones.

El uso actual de la energía tiene una especial importancia en la industria, como sector generador de soluciones en productos y servicios que mejoran las condiciones de vida de la población. Se estima que alrededor del 50% de la energía consumida a nivel mundial, está asociada con el sector industrial (Solnørdal & Foss, 2018). Las preocupaciones



energéticas del sector implican tanto necesidades de productividad y competitividad, como presiones motivadas por la regulación ambiental y los aumentos en el precio de los energéticos.

Pese a que existe una tendencia creciente hacia un mejor uso de la energía en la industria, y a que la naturaleza competitiva de las empresas debería por sí misma llevar a la adopción de las mejores oportunidades de ahorro relacionadas con la energía, el tema no es aún una prioridad, incluso en industrias intensivas en consumo (Rudberg, Waldemarsson, & Lidestam, 2013; Schulze, Nehler, Ottosson, & Thollander, 2016).

La Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés), estima que la intensidad energética del sector industrial podría llegar a reducirse hasta en un 44% entre el 2018 y el 2040 (IEA, 2018). No obstante, en la práctica se encuentra una diferencia entre el potencial de eficiencia energética que debería alcanzarse bajo un nivel racional de decisiones y la eficiencia energética real de las empresas, la cual se conoce como la brecha de eficiencia energética o la paradoja de eficiencia energética (Bunse, Vodicka, Schönsleben, Brühlhart, & Ernst, 2011). Las prácticas en gestión pueden extender el potencial de eficiencia energética para cerrar esta brecha, pudiendo representar alrededor del 40% de los ahorros energéticos de una industria y facilitando la obtención del 60% restante (Paramonova, Thollander, & Ottosson, 2015).

Alcanzar los potenciales energéticos conjuntos del sector industrial requiere de la participación de diferentes tipos de actores. La IEA organiza los diferentes niveles de intervención frente al uso de la energía mediante el planteamiento de una pirámide de indicadores de eficiencia energética (IEA, 2014). Para el sector industrial, el primer nivel de la pirámide está representado por los usos finales de energía y la agregación de consumos a nivel de empresas individuales. En el segundo nivel, se agregan resultados a nivel de subsectores industriales (por ejemplo, textil, alimentos etc.). En el nivel superior, se agrega la información para el sector industrial en su totalidad.

Los intereses de las organizaciones industriales y de las entidades gubernamentales respecto al uso de la energía pueden ser canalizados a través de acciones sectoriales, que permitan aportar tanto a metas de competitividad y productividad, como al aseguramiento adecuado de los recursos energéticos para la población. Estas acciones deben ser desarrolladas de manera que permitan sobrepasar las barreras comúnmente

asociadas a la eficiencia energética. Bajo la perspectiva de la IEA, lo anterior involucra tener en cuenta tres aspectos prioritarios: el flujo de información, el fortalecimiento de competencias y la financiación (Henriques & Catarino, 2016). Desde este punto de vista, contar con un marco adecuado de información que permita valorar de manera integral las acciones a desarrollar representa una base para mejorar el impacto de las acciones.

En el ámbito de las industrias, el uso de la energía ha abordado históricamente distintas perspectivas. En la década de 1980 el concepto se centró en el Uso Racional de la Energía (URE) donde se buscaba que las tecnologías respondieran a un criterio de mínimo costo y en los noventa se centró en la eficiencia energética que implica entender la energía en función de un uso final (Prias, 2006). Iniciando el siglo XXI se empezó a promover la integración de la energía a los sistemas de gestión empresariales, adoptando el concepto de desempeño energético desde un ámbito que involucraba entender el uso de la energía no solo desde una perspectiva técnica, sino como una función del comportamiento institucional (McKane, 2010).

Como resultado de este proceso surgió en el 2011 la norma técnica internacional ISO 50001 *Sistemas de Gestión de la Energía Requisitos con Orientación para su Uso*, que presenta un marco de referencia para mejorar el desempeño energético de las organizaciones (ICONTEC, 2011). La norma es especialmente aplicable al sector industrial y desde su perspectiva, las mejoras del desempeño energético se traducen en resultados cuantificables relacionados con el uso de la energía, el consumo y la eficiencia energética. Esta definición resulta valiosa dado que relaciona los diferentes factores productivos de una organización con su comportamiento energético, en contraste con los enfoques tradicionales que tienden a centrarse en los equipos de uso final de energía.

La norma ISO 50001 está estructurada para aplicación al nivel de una organización individual. No obstante, los conceptos asociados al desempeño energético podrían extenderse al ámbito sectorial para ampliar su rango de aplicación. Desde esta perspectiva, puede generarse una visión integral del desempeño energético a nivel sectorial que permita una aproximación estructurada para entender los factores que interactúan en los resultados energéticos finales del sector y las áreas donde se puede mejorar. En línea con esta perspectiva, en esta tesis se busca establecer lineamientos

para proponer una caracterización del desempeño energético de sectores industriales colombianos, partiendo de la definición de la ISO 50001.

Para lograr este objetivo, se parte de una revisión de las relaciones entre el desempeño energético y los diferentes elementos de una organización. Estos elementos se clasifican para identificar las relaciones existentes entre cada uno de ellos con el uso, el consumo y la eficiencia energética de la organización.

Posteriormente, se realiza una identificación de los estudios que se han realizado en el ámbito nacional relacionados con la caracterización energética de sectores industriales y se revisan otras fuentes públicas con información pertinente para el análisis de desempeño energético.

Con la información obtenida se elabora un análisis de brechas en las metodologías tradicionalmente usadas para la caracterización energética del sector industrial, identificando qué tipo de aspectos pueden fortalecerse para obtener diagnósticos integrales del desempeño energético. Se enfatiza en las variables de tipo organizacional dado que son las menos involucradas en análisis energético de los sectores colombianos.

La valoración se extiende al ámbito sectorial, y se contrasta con los elementos de información secundaria disponibles a través de encuestas y herramientas de información establecidas por el gobierno colombiano. El modelo planteado se valida con información de las empresas beneficiarias de programas de la Red Colombiana de Conocimiento en Eficiencia energética (RECIEE), bajo el liderazgo del grupo de investigación GRISec de la Universidad Nacional de Colombia.

Finalmente, se proponen elementos metodológicos para cerrar las brechas de información e indicadores complementarios para una caracterización energética integral de las industrias y se establece un esquema completo de caracterización, sumando estos elementos a los ya existentes en el estado del arte. La aproximación metodológica busca favorecer tanto la realización de diagnósticos para ser usados por las industrias, como la agregación de información por parte de las entidades colombianas encargadas de realización y monitoreo de políticas asociadas. En este sentido, se incluyen recomendaciones adicionales para estas entidades buscando potenciar las herramientas actualmente utilizadas para la recopilación de información de desempeño del sector industrial.



## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo General

Objetivo General: Desarrollar un modelo para la realización de caracterizaciones de desempeño energético de sectores industriales colombianos, que permita orientar las acciones de entidades de carácter sectorial en función de la gestión de la energía para la promoción de la competitividad industrial.

### 2.2 Objetivos específicos

- Definir las necesidades específicas del sector industrial colombiano que serán cubiertas a través del desarrollo del modelo de caracterización propuesto.
- Diseñar la estructura del modelo de caracterización para dar respuesta a las necesidades definidas.
- Identificar la información utilizada en la medición del desarrollo industrial colombiano (encuestas de innovación y productividad, balances energéticos etc.) que puede servir como insumo de información secundaria para el modelo.
- Diseñar indicadores de desempeño energético aplicables a nivel de sectores industriales, que generen criterios de evaluación a nivel de productividad y competitividad.
- Validar el modelo desarrollado en un sector seleccionado dentro del programa estratégico nacional “Consolidación de la Red de Conocimiento en Eficiencia Energética, RECIEE” y su impacto en el sector productivo bajo los estándares internacionales.



### **3.Elementos que caracterizan el desempeño energético de una industria**

En el presente capítulo se delimitará el marco de trabajo definiendo el enfoque de desempeño energético que se utilizará y su relación con las diferentes dimensiones de una empresa de producción. El problema tratado implica el entendimiento del concepto de energía, el cual puede abordarse desde múltiples dimensiones, pasando por enfoques termodinámicos o técnicos hasta epistemológicos (Velasco-Fernández, Giampietro, & Bukkens, 2018). Por esta razón, se inicia revisando los indicadores comúnmente usados en la caracterización del desempeño energético desde diferentes ámbitos de intervención respecto a la energía para la selección del enfoque de trabajo.

Dado que se busca mantener un enfoque práctico que se preste para su aplicación en el sector industrial, la revisión concluye con la adopción de la definición de desempeño energético de la norma ISO 50001, *Sistemas de gestión de la energía, lineamientos con orientación para su uso* (ICONTEC, 2019). Esta norma brinda lineamientos para que una organización establezca acciones orientadas a la mejora continua de su desempeño energético, entendido desde el uso de la energía, el consumo y la eficiencia energética. A la luz de esta definición, se explora la relación de cada uno de los elementos del desempeño energético con los elementos que definen las actividades de una organización y finalmente, se genera un esquema para definir los aspectos que caracterizan e impactan el desempeño energético de una organización. Esta aproximación se usará para entender los aspectos que pueden extenderse al análisis de tipo sectorial.

### **3.1 Uso de Indicadores energéticos en la caracterización sectorial**

La medición del consumo de la energía empieza a ser una preocupación en la década de 1970, como una reacción de los países ante la escasez de recursos energéticos generada por la crisis del petróleo de 1973. Desde el surgimiento de la era industrial, existía una percepción aparente de inagotabilidad de los recursos energéticos que llevó a que sus costos fueran muy bajos respecto a los costos de mano de obra o de otros factores involucrados en la satisfacción de necesidades humanas, causando su consumo incremental y no controlado (Aplak & Sogut, 2013). Durante la crisis del petróleo, los costos energéticos presentaron una subida inesperada, llevando al colapso de los modelos de producción establecidos, lo que generó preocupación en los gobiernos mundiales en cuanto a su capacidad para atender a las necesidades crecientes de la población, de una manera económica y segura.

Ante este panorama, empezaron a surgir indicadores energéticos que permitieran entender qué tan efectivo estaba siendo el uso de energía a nivel de cada país, los cuales posteriormente se usaron para la comparación y análisis entre países. Inicialmente, el enfoque estaba centrado en el área de manufactura (Ang, 2006), y hacia la mitad de la década, se orientó a acciones desarrolladas por los usuarios finales de energía para la reducción del consumo, diferenciando los ahorros por cambios en el estilo de vida de los ocasionados por las mejoras tecnológicas. Luego de la segunda guerra del petróleo (1979), se impone el paradigma de gestión de la demanda, que buscó modificar pautas de evolución de la demanda a través de mejoras energéticas, sustitución entre energéticos y usos de energías renovables, basándose en el establecimiento de políticas. En los años ochenta se trabajó sobre el uso racional y eficiente de la energía (URE), bajo el cual se buscaba que las tecnologías respondieran a un criterio de mínimo costo, mientras que en los noventa, el concepto cambia al de eficiencia energética (Prias, 2006).

En 1990, siguiendo los resultados de la Cumbre de Río, la preocupación por el desarrollo sostenible empezó a tener un importante auge, modificando la percepción sobre la utilización de los recursos energéticos. El desarrollo sostenible involucra un equilibrio entre las perspectivas ambiental, económica y social, por lo que extiende la preocupación de seguridad de aprovisionamiento en los recursos energéticos a nuevas dimensiones. La



combinación de estas perspectivas crea una perspectiva de mercado para vincular de manera directa el desarrollo industrial, la perspectiva económica y los impactos ambientales. Una de las consecuencias de este enfoque, es la creación de indicadores para la medición de emisiones de CO<sub>2</sub>, que generan una nueva dimensión para el seguimiento a los aspectos energéticos.

En los noventas, también empiezan a fortalecerse los acuerdos voluntarios entre la industria y los gobiernos, inicialmente a nivel ambiental y en los últimos años en temas específicos de eficiencia energética (Rezessy & Bertoldi, 2011). En la actualidad, los potenciales de eficiencia energética y ahorro siguen siendo estimados, principalmente, a través de indicadores y benchmarking (Ke, Price, McNeil, Khanna, & Zhou, 2013).

Recientemente, la metodología de la ISO 50001 incluye el establecimiento de indicadores de desempeño energético, (IDE). Bajo la filosofía de la norma, los indicadores son de uso interno de una organización, sin embargo, su utilización podría orientarse a la proyección de información de la empresa hacia otros niveles de la pirámide energética. McKane et. al (2010) realizan una revisión de normas nacionales en gestión de la energía vigentes para 2009 (previas a la norma ISO 50001), en la cual se observa que 6 de los 8 casos citados incluían la obligatoriedad de reportar información a entidades públicas lo cual sustenta la relación entre el nivel organizacional y sectorial. De otra parte, el indicador de desempeño energético de la metodología *energy star*, cuyo enfoque general se asemeja a un sistema de gestión, está diseñado para servir como índice de comparación con otras empresas del sector (Boyd, Dutrow, & Tunnessen, 2008).

### **Pirámide de Indicadores energéticos**

En la Figura 1, se muestra un modelo general de la pirámide de indicadores de energía usada por la agencia internacional de energía (IEA, 2014). El nivel de agregación de la información aumenta a medida que se sube en los niveles (partiendo de información a nivel de producto o de proceso) y los requerimientos de información aumentan a medida que se baja en los niveles.

De esta manera, la base de la pirámide requiere una amplia gama de información que debe ser recolectada de manera adecuada para ajustarse a los requerimientos de niveles

superiores. La información para indicadores parte generalmente de los niveles inferiores y se recoge a través de cuatro tipos de fuentes: administrativas, encuestas específicas, medición (a través de auditorías energéticas o actividades similares) o modelos específicos.

Para el sector industrial las fuentes administrativas son las más comunes y a través de ellas se obtiene principalmente información de consumos (en ocasiones desagregados por fuentes de energía). Las demás fuentes se usan para obtener información tanto de consumos como de actividad industrial y las técnicas particulares usadas varían notablemente entre países.

**Figura 1. Pirámide de indicadores energéticos**



Tomado de (IEA, 2014)

## **Tipos de indicadores energéticos**

Las múltiples necesidades de usuarios de la información energética han llevado al desarrollo de distintos tipos de indicadores energéticos, los cuales buscan responder a necesidades de medición en diferentes niveles, de la manera más económica y efectiva disponible. Entre los tipos de indicadores encontramos:

- **Indicadores Económicos:** Relacionan unidades finales de energía con unidades de valor agregado en el producto final (por ejemplo, energía contra PIB o consumo de energía en la industria contra unidades monetarias). Este tipo de indicadores son de especial importancia en análisis macroeconómicos o de sectores agregados, y en general, son más fáciles de calcular que los otros tipos de indicadores. (Ang, 2006; IEA, 2014)
- **Indicadores físicos:** Relacionan el uso de energía con una unidad física final de un producto (por ejemplo: energía por tonelada). Generalmente, estos indicadores son conocidos como consumos específicos o consumo de energía por unidad (IEA, 2007). Se ha discutido que, aunque las unidades finales de producción usadas en un indicador de consumo específico pueden variar (por ejemplo: área superficial, volumen, masa, etc.), sería más preciso relacionar un indicador de consumo específico con unidades de masa (Pérez-Lombard, Ortiz, & Velázquez, 2013).
- **Indicadores Termodinámicos de Eficiencia Energética:** Se usan a nivel de equipos y relacionan la energía de entrada con la de salida. Por ejemplo, la eficiencia de una caldera podría obtenerse como la energía contenida en el vapor de salida, sobre la energía necesaria para calentar el agua en su interior. De igual manera, en un motor eléctrico se podría obtener la eficiencia como la potencia de salida sobre la electricidad de entrada (Tanaka, 2008). Proskkurayova y Kovalev (2015) resaltan que, pese a que actualmente estos indicadores se usan principalmente a nivel micro (equipos, instalaciones), su uso a nivel corporativo y de políticas energéticas podría solucionar algunos de los problemas de los actuales sistemas de indicadores.
- **Indicadores Tecnológicos:** Esta categoría agrupa indicadores cuya finalidad es mostrar la difusión o niveles de adopción de un cierto tipo de tecnología catalogada como eficiente. Los cálculos de ahorros asumen que la organización usa los equipos bajo condiciones eficientes y pueden calcularse bajo la siguiente fórmula (Tanaka, 2008):

$$P_{EET} = \sum P_{EEt} = \sum (DR_{Tt} - DR_{Ct})EEI_t$$

Dónde:

$P_{EET}$  = Eficiencia energética total

$P_{EEt}$  = Eficiencia energética por tecnología

$DR_{Tt}$  = Difusión esperada de la tecnología

$DR_{Ct}$  = Difusión actual de la tecnología

$EEt$  = Diferencia entre la eficiencia de la tecnología objetivo y la tecnología actual

El cálculo del factor  $EEt$  corresponde a un análisis de eficiencia de la tecnología, mientras que los factores  $DR$  tienen mayor dificultad de cálculo, ya que dependen de variables cualitativas (ej. políticas nacionales y regionales, costos de la tecnología, factores de mercado, entre otros). El programa de estimación de reducción de emisiones de Japón para el sector de acero, utilizó encuestas, entrevistas y revisión de literatura para el establecimiento de estas variables en sus indicadores energéticos basados en difusión tecnológica (Tanaka, 2008). En Colombia, el primer balance de energía útil desarrollado para la UPME se basó en revisión de literatura y de la tecnología disponible en el ámbito local para desarrollar un análisis de mejor tecnología disponible a nivel mundial y mejor escenario disponible en el ámbito nacional (UPME, 2019). Este tipo de indicadores se involucra en los análisis de Mejor Tecnología Disponible (BAT, por las siglas en inglés *Best Available Technology*)

El cálculo de potenciales de ahorro bajo este modelo asume el comportamiento de las introducciones tecnológicas bajo una curva tipo s. Es decir, el modelo prevé un aprovisionamiento lento de tecnologías en un primer periodo, seguido de un periodo muy rápido de adquisición de tecnologías y un periodo final lento de adopción de la tecnología por parte de usuarios restantes. El modelo es útil, modelable matemáticamente y refleja muchos cambios reales comúnmente observados, por ejemplo, en la adquisición de electrodomésticos en el sector residencial. No obstante, el sector industrial puede presentar comportamientos distintos, debido a que la adquisición de tecnología tiene mayores barreras de

entrada asociadas a factores como el costo y acceso a la tecnología, lo que genera inexactitudes en las proyecciones basadas en este tipo de análisis (Paramonova et al., 2015).

De otra parte, los postulados asumen que la tecnología será instalada bajo condiciones que aseguren su eficiencia energética de fábrica y operados bajo estándares adecuados. No obstante esta suposición puede ocultar costos y comportamientos que representen aún mayores desviaciones sobre las proyecciones del modelo (Paramonova et al., 2015).

### **Establecimiento de indicadores sectoriales**

Existen dos enfoques para el establecimiento de indicadores de nivel macroeconómico y sectoriales (Ang, 2006),:

- **Uso de Indicadores Agregados:** Utiliza datos agregados de energía y monetarios, o de unidades físicas, para obtener indicadores energéticos. Este fue el enfoque utilizado desde comienzos de los 70's y tiene como ventaja su fácil utilización, no requerir de una alta cantidad de datos y facilidad de interpretación a nivel de países. Como desventaja, el sistema no permitirá desagregar fácilmente los indicadores, ni identificar las posibles causas de las tendencias observadas.
- **Enfoque *Bottom Up*:** Busca que los indicadores agregados sean construidos a través de la medición de indicadores de nivel inferior, tales como de nivel sectorial o de uso final. Este tipo de enfoque tiene la ventaja de permitir una mayor coherencia entre los indicadores a distintos niveles. Además, permite agregación a distintos niveles (por ejemplo, para un tipo de industria específica, a nivel regional o nacional). Como desventaja, tienen un alto costo económico y requiere de una muy alta calidad de los datos fuente para resultar efectivo.

Los sistemas para construir indicadores sectoriales pueden basarse en indicadores de distintos tipos (por ejemplo, económicos y basados en unidades físicas), pero debe mantenerse coherencia en los datos utilizados para asegurar su efectividad.

La literatura reporta diferentes problemáticas asociadas a las metodologías y técnicas para establecer sistemas de indicadores. Uno de los principales problemas se relaciona con las diferencias de reporte de información entre los niveles de la pirámide de eficiencia energética. En los niveles superiores suelen usarse indicadores de intensidad energética mientras que en la parte inferior se usan indicadores de eficiencia energética, lo que crea una ruptura para la comunicación de ambos niveles de la pirámide (Proskuryakova & Kovalev, 2015).

De otra parte, en los niveles inferiores los gestores energéticos son conscientes de la necesidad de involucrar variables adicionales a los indicadores energéticos en la caracterización de procesos (por ejemplo comportamiento de los trabajadores, integración con diferentes procesos) pero en los niveles superiores el enfoque generalizado de trabajar sobre la intensidad energética enmascara este tipo de problemáticas (Velasco-Fernández et al., 2018). Otras problemáticas incluyen la cuantificación de valor, calidad de la energía, agregación y partición y modificaciones por efectos estructurales (Pérez-Lombard et al., 2013; Rojas & Prias, 2016).

## **Sistemas internacionales de indicadores de energía y eficiencia energética**

Desde la década de los noventa, diversos países han iniciado programas de monitoreo de eficiencia energética y gases de efecto invernadero, que en muchos casos se han integrado con iniciativas regionales. Estos programas se centran mayoritariamente en las necesidades de la parte superior de la pirámide energética (Pérez-Lombard et al., 2013); es indicadores de país y en algunos casos sectores macro. Entre los programas relevantes se encuentran:

**ODYSEE-MURE (Europa)** El programa ODYSEE-MURE busca monitorear los indicadores y acciones de eficiencia energética y reducción de gases de efecto invernadero en los 28 países de la Unión Europea, además de Noruega. El programa trabaja con dos bases de datos complementarias: la base ODYSEE, iniciada en 1992 como parte de la iniciativa SAVE y centrada en el levantamiento de indicadores de eficiencia energética y CO<sub>2</sub> (ODYSEE-MURE, n.d.) (Ang, 2006); y la base de datos MURE, centrada en el seguimiento de políticas y medidas de eficiencia energética.

El proyecto ODYSSEE-MURE es coordinado por ADEME (Agencia de Gestión de Ambiente y Energía de Francia), con apoyo técnico de la firma internacional de consultoría en energía ENERDATA (entidades que administran ODYSSEE), ISIS Italia, Fraunhofer Alemania (entidades que administran MURE) y ECN (Holanda). No obstante, en la actualización de las bases de datos del programa interactúan 33 instituciones, principalmente agencias de energía de los países miembro.

**Departamento de Energía (DOE, Estados Unidos).** El DOE inició el monitoreo de indicadores energéticos de Estados Unidos en 1993 y publicó sus primeros resultados en 1995 (Ang, 2006). En el 2005, a través de la Oficina de Eficiencia Energética y Energías Renovables (EERE), estableció un nuevo sistema de indicadores para monitorear la intensidad energética en la economía del país, el cual se publica en su página web a partir de 2006 (Ang, 2006; Horowitz, 2008). Por otra parte, la Agencia de Protección Ambiental - EPA, a través de su programa *energy star*, ha configurado desde el 2002 un programa para industria en el que se incluyen, entre otros elementos, herramientas para la determinación de mejores prácticas sectoriales y un indicador de desempeño energético para industrias (EPI), en el cual una empresa específica puede compararse contra el desempeño del sector, mediante un indicador alimentado con datos de la oficina estadounidense de censos (Boyd et al., 2008).

**Programa BIEE (Base de Indicadores de Eficiencia Energética) – CEPAL.** Este programa, iniciado por la comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) en el 2011 en el marco del *International Partnership for Energy Efficiency Cooperation – IPEEC*, tiene como objetivo dar seguimiento a las iniciativas latinoamericanas en eficiencia energética, siguiendo la estructura de funcionamiento del programa ODYSSEE. El programa inició en los países miembros de Mercosur, para posteriormente extenderse a otros países, contando actualmente con 19 participantes. Colombia ingresó en el 2014 (BIEE, 2015).

La recolección de información en cada país incluye datos de consumo energético y socioeconómicos por sectores de consumo. En el proceso se utiliza una plantilla común para la recolección de datos, basada en los mecanismos de obtención de información ya existentes en los diferentes países participantes.

Actualmente, el programa cuenta con avances destacados en países como Argentina, Brasil y Nicaragua sin embargo, aún no posee información completa de todos los participantes.

### **indicadores energéticos de las bases ODYSSEE y BIEE**

El programa para la creación de la base de datos de indicadores de eficiencia energética para Latinoamérica (BIEE) se alimenta a través de una plantilla basada en la utilizada por el programa Europeo ODYSSEE. Para el caso latinoamericano, la plantilla ha sido retroalimentada con los países participantes, realizando transformaciones para que reflejen la realidad latinoamericana.

Ambas plantillas están divididas por sectores finales de consumo de energía, y contienen datos básicos energéticos, datos básicos de variables relacionadas con los usos finales de la energía (por ejemplo, demográficos o económicos) e indicadores energéticos desarrollados con base en esta información. También se incluyen estos datos agregados para la economía en su totalidad.

La Tabla 1, muestra la información e indicadores que alimenta la plantilla de la base de datos ODYSSEE. La información se agrupa en cuatro sectores de consumo: *Industria, Transporte, Residencial y Servicios y Agricultura*. Adicionalmente, se recogen datos para la economía en su totalidad y con esta información se desarrolla el indicador global de eficiencia energética ODEX. Este indicador busca ponderar la participación de los diferentes sectores en la participación global, no obstante, se ha estudiado que su formulación no tiene en cuenta la atención a las problemáticas comunes de elaboración de indicadores energéticos, lo que puede generar distorsiones (Cahill & Gallachoir, 2010).

De otra parte, la plantilla de la base de datos BIEE (**Tabla 2**), separa los sectores *agricultura y sector terciario*, e incluye *energía* como un sector adicional, teniendo un total de seis sectores de consumo, más el análisis macro. A diferencia de la plantilla de ODYSSEE, el desempeño energético de la economía en su generalidad no se trabaja bajo un nuevo indicador, sino que se utiliza la intensidad energética, indicador comúnmente utilizado por los países. En las siguientes tablas se muestra el listado de indicadores para los programas ODYSSEE y BIEE.



**Tabla 1.** Información e indicadores por subsector utilizados en el programa ODYSSEE

	<b>Macro</b>	<b>Industria</b>	<b>Transporte</b>	<b>Residencial</b>	<b>Servicios y Agricultura</b>
<b>DATOS ECONÓMICOS/ TÉCNICOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo primario.</li> <li>• Consumo final.</li> <li>• Demografía (población).</li> <li>• PIB, valor agregado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo energético por rama.</li> <li>• Índice de producción por rama.</li> <li>• Valor agregado por rama.</li> <li>• Producción física para productos intensivos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo energético por combustible y modo.</li> <li>• Número de vehículos por combustible.</li> <li>• Registros por vehículo y tipo de combustible.</li> <li>• Tráfico por modo.</li> <li>• Distancia anual viajada por vehículo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo de energía.</li> <li>• Número de hogares.</li> <li>• Nuevos hogares.</li> <li>• Área de superficie de hogares.</li> <li>• Número de electrodomésticos</li> <li>• Calificación del equipo.</li> <li>• Grados día.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo de energía.</li> <li>• Valor Agregado.</li> <li>• Área de superficie.</li> <li>• Empleo.</li> </ul>
<b>INDICADORES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CO2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiencia Energética macro (ODEX).</li> <li>• Intensidad energética primaria.</li> <li>• Intensidad energética final.</li> <li>• Emisiones de CO2.</li> <li>• Intensidad de CO2.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de Eficiencia Energética (ODEX).</li> <li>• Intensidad energética por rama.</li> <li>• Intensidad energética ajustada a la estructura del sector.</li> <li>• Consumo específico por productos intensivos (toe/ton).</li> <li>• Intensidad de CO2 por sector.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de eficiencia energética para transporte (ODEX).</li> <li>• Consumo específico por vehículo (litros/100km).</li> <li>• Emisiones específicas de CO2 por modo y por vehículo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de eficiencia energética sector residencial (ODEX).</li> <li>• Consumo específico por hogar, por usos y por equipo.</li> <li>• Consumo específico de CO2.</li> <li>• Indicadores de CO2.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensidad energética.</li> <li>• Intensidad Eléctrica.</li> <li>• Consumo específico por empleado, área de superficie.</li> <li>• Emisiones de CO2.</li> </ul>

Elaboración propia con base en información de la página web de ODYSSEE – MURE (consultada en septiembre de 2017).

**Tabla 2.** Información e indicadores manejados en la plantilla del programa BIEE.

	<b>Macro</b>	<b>Energía</b>	<b>Industria</b>	<b>Transporte</b>
<b>DATOS ECONÓMICOS/ TÉCNICOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PIB por sector, tasas de cambio.</li> <li>• Demografía (Población).</li> <li>• Balance energético (usos primarios y finales de energía por sector)</li> <li>• Grados día.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo del sector energético.</li> <li>• Producción, importaciones/exportaciones, consumo (insumos), pérdidas, insumos de plantas térmicas.</li> <li>• Producción de gas, carbón, coque, alto horno,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valor agregado a precio constante por rama industrial.</li> <li>• Índice de producción por rama industrial.</li> <li>• Producción física por productos intensivos en energía.</li> <li>• Consumo final de energía por rama industrial.</li> <li>• Consumo energético final por rama industrial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número y venta de vehículos por tipo.</li> <li>• Distancia recorrida por vehículo</li> <li>• Tráfico de pasajeros y bienes en pasajeros/km y ton/km.</li> <li>• Consumo energético por modo y tipo de vehículos de carretera.</li> <li>• Consumo específico por vehículos (promedio, nuevos).</li> </ul>
<b>INDICADORES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CO2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensidad primaria</li> <li>• Intensidad final total y por sector</li> <li>• Relación intensidad final/Intensidad Primaria</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiencia de transformación de energía.</li> <li>• Eficiencia de generación (promedio, térmica).</li> <li>• Eficiencia de refinerías.</li> <li>• Eficiencia de plantas de gas, carbón, y plantas de generación de coque.</li> <li>• Pérdidas en generación y transmisión.</li> <li>• Participación de energía hidráulica y eólica en la producción bruta de electricidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensidad energética por rama.</li> <li>• Consumo unitario de productos intensivos.</li> <li>• Intensidad energética con estructura constante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo energético de transporte de carretera por vehículo</li> <li>• Consumo energético por carro equivalente.</li> <li>• Consumo unitario por vehículo.</li> <li>• Consumo por unidad de tráfico.</li> <li>• Movilidad en transporte público per cápita.</li> <li>• Participación de transporte público para pasajeros.</li> <li>• Participación de transporte de bienes por modos distintos a carretera.</li> </ul>

	<b>Residencial</b>	<b>Terciario (servicios)</b>	<b>Agricultura</b>
<b>DATOS ECONÓMICOS/ TÉCNICOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número de hogares.</li> <li>• Construcción anual</li> <li>• Características de los hogares: número por combustibles y uso final, área de superficie.</li> <li>• Electrodomésticos eléctricos: número, ventas, calificación de equipos, consumo específico.</li> <li>• Equipos eficientes: Lámparas compactas fluorescentes (CFL), secadores solares térmicos, estufas de biomasa, (número, ventas).</li> <li>• Consumo energético por usos finales.</li> <li>• Consumo específico de nuevos hogares.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo energético de servicios (públicos y comerciales)</li> <li>• Consumo energético por combustible y usos finales.</li> <li>• Área de superficie de edificios.</li> <li>• Construcción anual de edificios.</li> <li>• Valor agregado por ramas.</li> <li>• Datos de actividades: camas en hospitales, estudiantes, noches/persona en hoteles, restaurantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo energético de agricultura, silvicultura y pesca.</li> <li>• Datos de actividades (número de bombas (eléctricas y diésel), número de tractores, área sembrada, área irrigada.</li> </ul>
<b>INDICADORES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CO2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensidad energética.</li> <li>• Consumo eléctrico por hogares con electricidad.</li> <li>• Consumo de energía eléctrica por hogar.</li> <li>• Consumo energético por hogares con correcciones climáticas.</li> <li>• Consumo energético de calentamiento de espacio por hogar, por m<sup>2</sup> con correcciones climáticas.</li> <li>• Consumo de electricidad para aire acondicionado por hogar, por m<sup>2</sup> con correcciones climáticas.</li> <li>• Consumo energético para cocción.</li> <li>• Calentamiento solar térmico: Capacidad instalada, porcentaje de hogares, producción de calor.</li> <li>• Equipos eficientes (etiqueta A o equivalente): Refrigeradores, lavadoras, aires acondicionados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensidad energética y eléctrica, real y normalizada por factores climáticos.</li> <li>• Consumo energético y eléctrico por empleado y por rama.</li> <li>• Consumo eléctrico de iluminación pública per cápita.</li> <li>• Consumo eléctrico de aire acondicionado por empleado y /o m<sup>2</sup> (observado y normalizado por factores climáticos).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo energético y eléctrico por unidad de valor agregado.</li> <li>• Consumo de diésel por unidad de valor agregado.</li> <li>• Consumo energético por unidad de valor agregado por tipo de actividad (agricultura, pesca y silvicultura)</li> <li>• Tasa de mecanización de agricultura.</li> <li>• Porcentaje de área de agricultura con irrigación.</li> <li>• Tasa de equipamiento de bombas diésel y eléctrica.</li> <li>• Consumo específico de pesca por bote.</li> <li>• Consumo específico por tipo de cultivo.</li> </ul>

Elaboración propia con base en Enerdata, Ademe, CEPAL (2013)

## 3.2 Definición de desempeño energético

El concepto de desempeño energético puede ser entendido desde diversas perspectivas según el área que se esté analizando. Teniendo en cuenta la problemática abordada, en el presente trabajo se delimitó el interés a la definición de desempeño energético de la norma internacional ISO 50001:2018 “Sistemas de Gestión de la Energía, Requisitos con Orientación para su Uso” (ICONTEC, 2019). Esta norma está enfocada en el uso de la energía por parte de las organizaciones y representa un enfoque integral, que recoge tanto factores tecnológicos como prácticas de gestión, y por ello presenta un marco adecuado para el desarrollo del trabajo. La norma presenta las siguientes definiciones (se han omitido las notas y los números de referencia al interior de las definiciones):

**Desempeño Energético:** resultados medibles relacionados con la eficiencia energética el uso de la energía y el consumo de la energía.

**Eficiencia Energética:** proporción u otra relación cuantitativa entre un resultado de desempeño, servicio, productos, materias primas, o de energía y una entrada de energía.

**Uso de la energía:** aplicación de la energía EJEMPLO: ventilación; iluminación; calefacción; enfriamiento; transporte; almacenamiento de datos; proceso de producción.

**Consumo de la energía:** Cantidad de energía utilizada.

## 3.3 Elementos organizacionales que caracterizan el desempeño energético de una industria manufacturera

En los siguientes apartados se hace una revisión de los diferentes elementos empresariales que inciden en el desempeño energético de una organización. Posteriormente, se realiza una clasificación de estos elementos frente a los aspectos relacionados con a la eficiencia energética, sirviendo como marco para el análisis en los siguientes capítulos.

## La energía dentro de los procesos productivos

Existen numerosas aproximaciones sobre la manera en que puede analizarse el uso y consumo de la energía dentro de un proceso productivo. Rahimifard, Seow, & Childs (2010) identifican dos aproximaciones genéricas para estudiar el consumo energético en una industria: a nivel de planta y a nivel de proceso. La primera se centra en reducción de consumos teniendo como foco la infraestructura de planta y los servicios industriales (ventilación, iluminación, acondicionamiento de espacios etc.) y la segunda en modelar el consumo de equipos o instalaciones específicas. En contraste con estas perspectivas, los autores proponen un esquema para modelar los consumos energéticos asociados a la elaboración de un producto. El modelo tiene en cuenta la energía directa (requerida por los equipos y procesos para la manufactura del producto) y la indirecta (la usada para mantener las condiciones del ambiente en el que se produce el producto). La energía directa a su vez se divide en energía teórica (energía mínima requerida para llevar a cabo el proceso) y energía auxiliar (que se refiere a la energía para soporte de la maquinaria y equipos usados en manufactura, por ejemplo, ventilación o refrigeración de equipos).

Bajo un análisis similar, diversas metodologías han estudiado el desempeño energético en los procesos productivos desde el enfoque de *Lean Manufacturing*, centrándose en la eliminación de todos los consumos que no generen valor al producto final. El enfoque de *Lean Energy* (Gopalakrishnan, Mardikar, Gupta, Jalali, & Chaudhari, 2012), señala la existencia de consumos de energía no esenciales (NEEC) escondidos en los procesos, que pueden encontrarse a través de análisis de Benchmarking para identificar un patrón mínimo de consumo del sector. De manera similar, la metodología *Lean Energy Analysis* (LEA), busca identificar los usos mínimos teóricos de la energía a nivel de empresas, como complemento a las metodologías desarrolladas para hallar estos mínimos a gran escala (niveles sectoriales o de país) (Abels, Sever, Kissock, & Ayele, 2011). El LEA incluye el análisis individual de equipos bajo la filosofía de reducción de desperdicios energéticos que no agreguen valor al cliente, así como el uso de herramientas estadísticas para desagregar la energía que depende del clima y de la producción.

Otro conjunto de metodologías ha propuesto el uso de la herramienta *Value Stream Mapping* (VSM) (que hace parte del concepto de *Lean Manufacturing*), para identificar el flujo de energía dentro de una empresa y las fuentes potenciales de desperdicios. Dentro de las aproximaciones, se encuentra la integración del *Value Stream Mapping* con las redes Bayesianas para plantear una metodología de construcción de mapas en Eficiencia

Energética que, además de generar diagnósticos, permitan formular escenarios de futuro que reflejen los resultados de acciones de mejora (Keskin & Kayakutlu, 2012) o la técnica *Sustainable Manufacturing Mapping* (MPP) (Paju et al., 2010) que combina las características del *Value Stream Mapping* (VSM), la Simulación de Eventos Discretos (DES) y el Análisis de ciclo de Vida (LCA) para mostrar los avances hacia las metas de sostenibilidad de una organización, incluyendo el aspecto energético.

En los desarrollos a nivel nacional, la metodología planteada desde el Sistema de Gestión Integral de la Energía propone el establecimiento de líneas de base energética correlacionando la producción y la energía consumida en una empresa (Campos, 2008; González et al., 2012). La metodología incluye la elaboración de un indicador principal, que relaciona las unidades de producción con la energía final, identificando además la energía no asociada a la producción. Los ahorros potenciales son identificados a través de una línea meta, que correlaciona las parejas de datos energía-producción que se encuentran debajo de la línea base y se asocian principalmente a mejores prácticas en el uso de la energía al interior de la empresa.

Guo et al (2019) Hacen una comparación de diferentes aproximaciones para hacer seguimiento al desempeño energético de empresas manufactureras definiendo tres enfoques principales: comparación del consumo absoluto, intensidad energética o consumo específico y modelos de regresión lineal.

Los autores comparan las ventajas y desventajas de cada uno de estos métodos y proponen la metodología de 'Intensidad Energética Modificada' para lograr un enfoque más exacto que el uso de consumos específicos pero que requiera menos datos que una regresión lineal.

La metodología MEI parte de la base de que en general el consumo asociado a las plantas de producción puede entenderse como la suma de dos componentes, uno asociado a la energía base y otro asociado al aumento de consumo relacionado con la producción. Por ello propone una fórmula de cálculo de ahorros que asigna un porcentaje a cada uno de estos elementos dentro del consumo total de la empresa. Cuando el cálculo no puede realizarse de manera empírica, pueden utilizarse los valores proporcionados en la Tabla 3.

Hyman, Ozalp, Varbanov y Van Fan (2019) proponen una metodología por pasos para modelar flujos de energía. El planteamiento parte del modelamiento energético para producción de unidades y lo extiende a niveles superiores de la pirámide energética (proceso, fábrica etc.). Para la extensión del análisis a diferentes niveles se hace un balance de masa y energía usando información de las encuestas estadísticas de Estados Unidos.

**Tabla 3.** Porcentajes de energía base típicos para diferentes industrias estadounidenses, clasificadas según el código Norte Americano de Sectores Industriales (NAICS)

<b>Sector</b>	<b>Alimentos</b>	<b>Bebidas y productos de Tabaco</b>	<b>Insumos textiles</b>	<b>Productos textiles</b>
Código NAICS	311	312	313	314
Electricidad	19%	26%	26%	33%
Gas natural	9%	13%	8%	25%
<b>Sector</b>	<b>Aparel</b>	<b>Cuero y productos relacionados</b>	<b>Madera</b>	<b>Papel</b>
Código NAICS	315	316	321	322
Electricidad	33%	ND	16%	10%
Gas natural	ND	ND	12%	5%
<b>Sector</b>	<b>Impresión y relacionados</b>	<b>Productos de petróleo y carbón</b>	<b>Químicos</b>	<b>Plástico y Caucho</b>
Código NAICS	323	324	325	326
Electricidad	29%	7%	12%	23%
Gas natural	33%	1%	3%	23%
<b>Sector</b>	<b>Productos de minerales no metálicos</b>	<b>Metales primarios</b>	<b>Metales fabricados</b>	<b>Maquinaria</b>
Código NAICS	327	331	332	333
Electricidad	13%	12%	29%	40%
Gas natural	6%	7%	25%	44%
<b>Sector</b>	<b>Productos de computación y electrónica</b>	<b>Equipos eléctricos, electrodomésticos y componentes</b>	<b>Equipos de transporte</b>	<b>Muebles y productos relacionados</b>
Código NAICS	334	335	336	337
Electricidad	41%	30%	38%	39%
Gas natural	36%	26%	38%	53%

Fuente: Guo et. Al (2019)

## **Impacto de los factores organizacionales de una empresa sobre su desempeño energético**

La relación entre los factores organizacionales de una empresa y aspectos relacionados con su desempeño energético se ha abordado extensamente desde estudios empíricos. Para operacionalizar los resultados energéticos se emplean tres tipos de variables: el consumo de energía (bien sea absoluto o relacionado con unidades de uso), el número de medidas de mejora adoptadas y las inversiones realizadas (Solnørdal & Foss, 2018).

Una amplia rama de la literatura se centra en las barreras organizacionales que impiden la adopción de acciones de eficiencia energética las cuales resultan especialmente notables para empresas pequeñas y medianas. Henriques y Catarino (2016) realizan una revisión de las barreras identificadas en diversos trabajos que pueden resumirse en las siguientes:

- Capital restringido y preferencia por priorizar otras inversiones.
- Inversiones que se pagan en un plazo muy largo.
- Problemas de información, bien sea porque es inexistente, es costosa o es poco exacta.
- Falta de tiempo y recursos para explorar medidas de eficiencia energética.
- Dificultades para acceder al capital.
- Falta de información de cómo y cuándo se usa la energía dentro del proceso productivo.
- Falta de competencias internas para implementar proyectos de eficiencia energética.
- Cultura organizacional (Resistencia al cambio, baja prioridad para los aspectos energéticos, percepción de altos riesgos asociados a la eficiencia energética)

En la misma línea de trabajo, Liu, Yamamoto y Suk (2014) identifican que los factores internos de una empresa (tales como la consciencia sobre la eficiencia energética, el apoyo de la alta gerencia y la capacidad de aprendizaje) influyen en mayor medida que los factores externos (presiones coercitivas, normativas y de la competencia) para la adopción de prácticas de mejora de la eficiencia energética. Los autores señalan que estos estudios coinciden con otros similares desarrollados en China y en Corea.

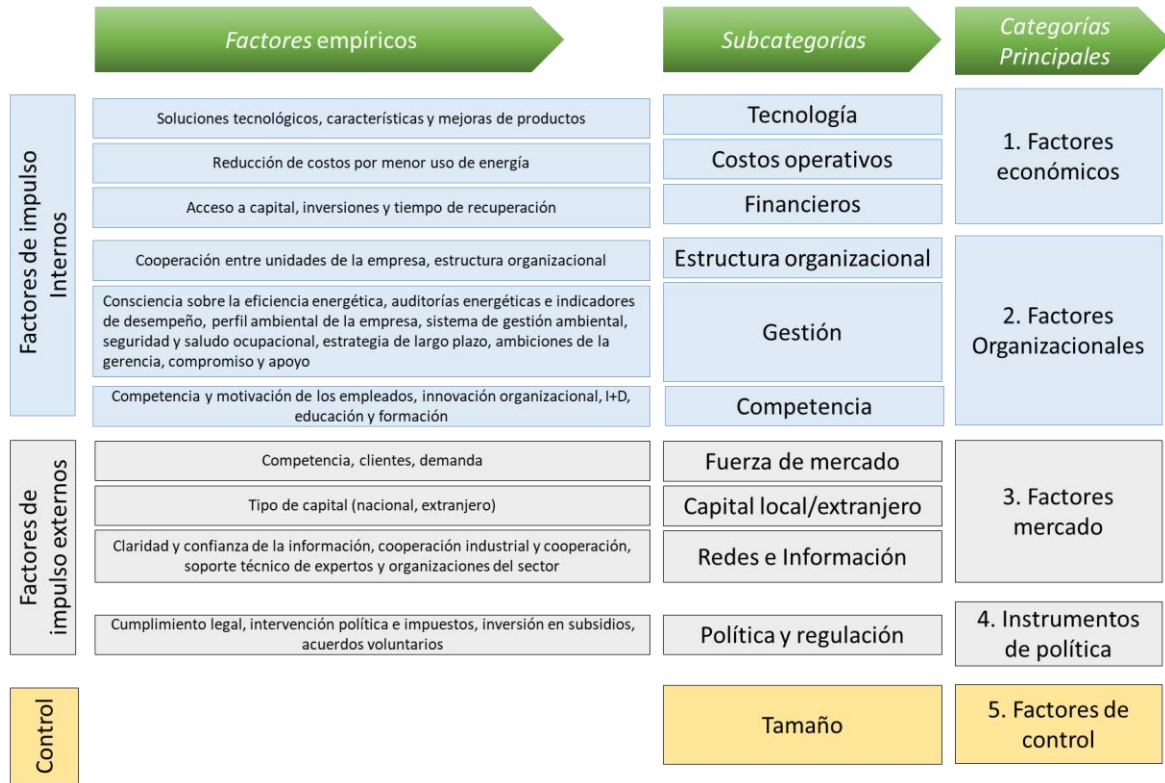


Richert (2017) señala que los obstáculos que impiden el cierre de la brecha en eficiencia energética incluyen barreras cognitivas y percepción de costos ocultos. En especial para las PYME influye el desconocimiento de flujos energéticos al interior de sus procesos productivos y la consecuente inexistencia de infraestructura de medición y restricciones financieras, de gestión, recursos humanos y *know how*. Esta debilidad se intenta subsanar con una metodología de implementación de sistemas de gestión de la energía adaptada a empresas pequeñas y medianas.

Por otra parte, las motivaciones para adoptar acciones de eficiencia energética están menos estudiadas sin embargo los beneficios se asocian mayormente a aumento de competitividad y productividad y en algunos casos a acceso a incentivos (Henriques & Catarino, 2016)

Frente a los aspectos que facilitan la eficiencia energética en industria (*drivers*), Solnørdal & Foss (2018) presentan un completo estudio del arte en la temática. La revisión involucra 853 publicaciones estudiando en detalle 58 de ellas. El artículo propone una categorización de estos factores desde 5 categorías principales (económicos, organizacionales, de mercado, instrumentos de política y factores de control), abarcando la dimensión interna y externa de la empresa. Dicha categorización se muestra en la Figura 2. El estudio también muestra que el área de estudio es relativamente reciente, presentando una intensidad baja de publicaciones entre 1998 y 2006 y un ascenso pronunciado a partir del 2013.

**Figura 2.** Categorización de los factores que impulsan la eficiencia energética en la industria. Adaptado de (Solnørdal & Foss, 2018)



Un aspecto destacado en este ámbito es el rol de los gestores energéticos dentro de las empresas. Avalone (2018) hace un análisis de las funciones que debe tener un gestor energético para tener un papel efectivo en una empresa. Rizzi et al (2018) identifican las cualidades que pueden lograr que un gestor energético tenga un papel productivo y no se dedique únicamente a cumplir tareas preestablecidas. La existencia de un gestor energético se identificó como uno de los aspectos comunes en empresas que fueron exitosas en eficiencia energética en Suecia, junto a nueve factores adicionales que se agrupan en las características de ‘personal con ambición’ y ‘estrategia en energía a largo plazo’ (Johansson & Thollander, 2018)

Un estudio con 729 municipalidades italianas revela que las empresas con una mayor percepción de formalización tienen una probabilidad más alta de tener prácticas en eficiencia energética. Esta relación positiva también se manifiesta con las organizaciones

que tienen un mayor enfoque sobre los empleados, un ambiente orientado al trabajo en equipo y existencia de metas compartidas (Rizzi et al., 2018).

Finalmente, existen aproximaciones hacia la creación de modelos para evaluar el estado de la eficiencia y gestión energética en la industria, así como métodos para apoyar la implementación de acciones de mejora. Máša, Stehlík, Touš, & Vondra (2018) establecen cuatro pilares para la gestión de la energía en empresas pequeñas y medianas: experiencia técnica, buenos datos operacionales, simulación y optimización y un enfoque metodológico sistemático que incluya los anteriores pilares.

Trianni et al. (2019) proponen un modelo para soportar la toma de decisiones en gestión de la energía con base en la caracterización de las prácticas de gestión de la energía. Los autores identifican cuatro corrientes de modelos para la evaluación de la gestión de la energía:

1. Requerimientos mínimos bajo un listado de cumple o no cumple, por ejemplo, a través de la norma ISO 50001
2. Modelos que evalúan la madurez de la empresa para gestionar la energía bajo una evaluación sistemática.
3. Matrices de Gestión de la energía que además de las características de los modelos anteriores incluyen autoevaluación de la empresa.
4. Modelos que exploran o describen en detalle las características de medidas de mejora de la eficiencia energética y dan lineamientos para que una empresa pueda adoptarlas.

Por último, la implementación de sistemas de gestión de la energía ha mostrado incidencia en otras dimensiones de la organización. Los impactos secundarios pueden ser clasificados en impactos en reducción de desperdicios, reducción de emisiones, operación y mantenimiento, producción, ambiente laboral y de otros tipos de beneficios (Cagno, Moschetta, & Trianni, 2019).

## **El papel de la Tecnología y la innovación**

En el ámbito industrial el papel de la tecnología es fundamental en entender el desempeño energético, dada la influencia directa que tiene sobre las transformaciones

requeridas en los materiales y la energía para lograr las actividades productivas. Para establecer un marco unificado de trabajo sobre este concepto, se adoptan las siguientes definiciones que permiten entender la tecnología desde un sentido integral:

- Tecnología:

*Organización del conocimiento para lograr propósitos prácticos* (Masthene, 1970)

*Las implementaciones prácticas de la inteligencia* (Ferré, 1988).

Bajo este marco, el concepto de tecnología abordará tanto la tecnología blanda como la tecnología dura los cuales pueden entenderse como:

- Tecnología dura: los componentes físicos de la tecnología (maquinarias y equipos que son empleados en un proceso de producción) (Botchie, Sarpong, & Bi, 2018). De otra parte, desde la perspectiva planteada por Guevara y Castellanos (2000) puede entenderse como los *'conocimientos aplicados y relacionados con la práctica productiva a fin de obtener un producto o servicio que satisfaga las expectativas del cliente (usuario o consumidor). Está representada por elementos tangibles, entre ellos: maquinaria, equipos, procesos, insumos y productos; así como por el conocimiento desincorporado aplicado al proceso productivo (know-how de producción)'*.
- Tecnología blanda: el conocimiento requerido para la operación de la tecnología dura que depende de una combinación de habilidades, experiencia y conocimiento de una organización. Dentro de la tecnología blanda se diferencia el conocimiento codificado y el conocimiento táctico (Botchie et al., 2018). Desde la perspectiva de Guevara y Castellanos (2000), la tecnología blanda puede entenderse como *los conocimientos aplicados al direccionamiento de la organización, a la forma y a la metodología empleada por la compañía para efectuar sus operaciones y a la administración de los recursos que posee la empresa con el fin de obtener un producto o servicio que colme las expectativas del cliente (consumidor o usuario)*. Desde el punto de vista del desempeño energético la tecnología blanda implica aspectos como los sistemas de gestión, los gestores energéticos o el flujo de información (Rizzi et al., 2018).

Teniendo en cuenta las definiciones estudiadas, el concepto de tecnología involucrado en el desempeño energético de una industria abarcará tanto el conocimiento incorporado a

los procesos productivos, como el conocimiento gerencial para ordenar los elementos organizacionales alrededor de estos procesos. Igualmente se abarcan los equipos de uso final de la energía y los procesos auxiliares.

Finalmente, se contemplará el papel de la innovación en relación con las mejoras del desempeño energético. Este aspecto se hace relevante teniendo en cuenta evidencias empíricas que señalan su influencia en los resultados de desempeño energético de una empresa. Por ejemplo, se encuentran resultados que indican que el desempeño técnico de la eficiencia energética está influenciado por la innovación y la centralización con influencia poco significativa de otras variables organizacionales (Rizzi et al., 2018), .

Para el estudio de la innovación se adoptarán las siguientes definiciones de la NTC 5800 *Gestión de la Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i). Terminología y Definiciones de las Actividades de I+D+i*, que especifica definiciones en el área de innovación y desarrollo tomadas principalmente de los manuales de Oslo y Frascati (ICONTEC, 2008).

- Innovación: Introducción de un nuevo o significativamente mejorado, producto (bien o servicio), de un proceso, de un nuevo método de comercialización o de un nuevo método organizativo, en las prácticas internas de la empresa, la organización, del lugar de trabajo o las relaciones exteriores.
- Actividades Innovadoras: Corresponden con todas las operaciones científicas, tecnológicas, organizativas, financieras, comerciales y sociales que conducen efectivamente, o tienen por objeto conducir, a la introducción de innovaciones. Algunas de estas actividades son innovadoras en sí mismas, otras no son nuevas pero son necesarias para la introducción de innovaciones.
- Gestión del conocimiento: Proceso constituido por todas las actividades que permiten generar, buscar, difundir, compartir, utilizar, proteger y mantener el conocimiento, información experiencia y pericia de una organización, con el fin de incrementar su capital intelectual y aumentar su valor.



## **4.Desagregación de elementos que impactan y caracterizan el desempeño energético**

### **4.1 Clasificación de elementos que caracterizan e impactan el desempeño energético de una industria**

Con base en la definición de desempeño energético y la revisión de los factores productivos, organizacionales y tecnológicos que influyen sobre esta dimensión de la empresa, se realizó un esquema de los diferentes elementos de una industria que se relacionan con el desempeño energético. El esquema se muestra en la Figura 3. Cada elemento se clasifica según se relacione con el uso (izquierda), consumo (centro) o la eficiencia energética (derecha) de la empresa o a varios de ellos a la vez.

En el recuadro superior, se presentan aquellos aspectos que determinan las características propias del desempeño energético, es decir, configuran la manera en que la empresa usa la energía, cuál debe ser el consumo teórico de sus operaciones y cuál es la eficiencia energética máxima, asociada principalmente a la tecnología.

En el recuadro de la parte inferior se relacionan aquellos aspectos que impactan en el desempeño energético y por lo tanto influyen en que una empresa mejore o empeore su desempeño energético.

Por ejemplo, los tipos de procesos productivos pertenecen a los aspectos que caracterizan el desempeño energético ya que determinan qué tipo de operaciones debe realizar una empresa para la fabricación de sus productos y por ende los usos finales de la energía asociados a los procesos (bajo enfoques similares a Abels et al., 2011; Rahimifard et al., 2010). Del mismo modo, los requerimientos de energía útil del proceso productivo y sus procesos de soporte determinan cuánta energía se debe consumir en la

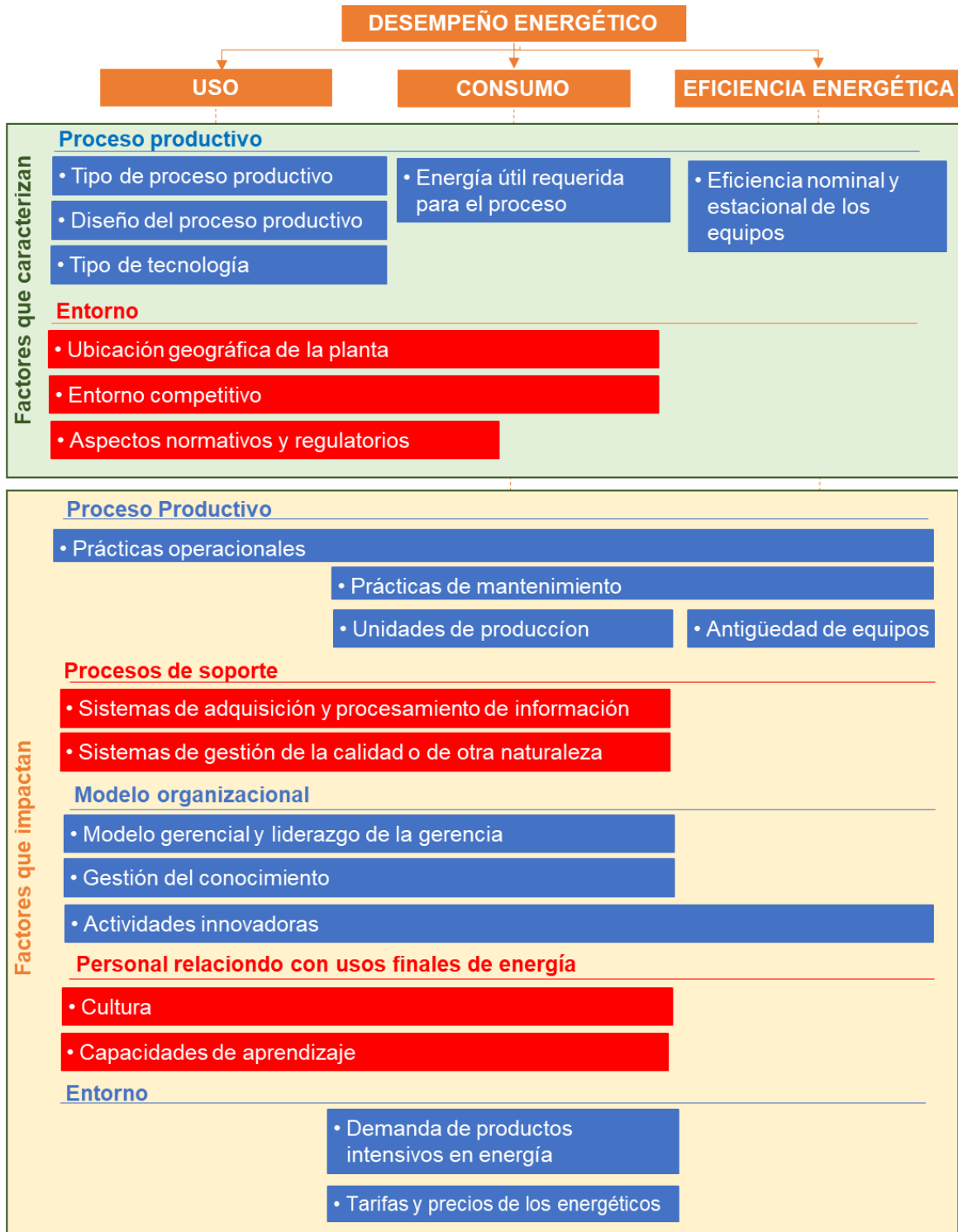
fabricación de cada producto y las características propias de los equipos consumidores de energía determinan su eficiencia energética teórica.

De otra parte, aspectos como las prácticas operacionales de la empresa, la cultura de los empleados respecto a la manera en que se debe usar la energía, las prácticas de mantenimiento u otros aspectos como los indicados en la parte inferior de Figura 3, podrían hacer que dos empresas que compartan las mismas características tengan diferente desempeño energético y por ende se clasificaron como aspectos que impactan el desempeño energético.

En los apartados siguientes se amplía la descripción de cada uno de los factores que se incluyeron.



**Figura 3.** Elementos de una organización que caracterizan e impactan su desempeño energético



Elaboración propia

## **Factores que caracterizan el desempeño energético de una organización**

Los factores que caracterizan el desempeño energético de una empresa se agruparon en factores asociados al proceso productivo, al modelo organizacional y al entorno.

Las variables relacionadas con el proceso productivo definen las características principales del uso de la energía en la empresa. En primera instancia, los usos finales de la energía están dados por los procesos productivos inherentes a los diferentes sectores, los cuales han sido objeto de diversos estudios por ejemplo en el marco internacional en la guía de indicadores energéticos de la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2014) o en el marco nacional el balance de energía útil (UPME; CORPOEMA, 2014). En el esquema, estas características intrincas se sintetizan como *tipo de proceso productivo*.

Con base en los requerimientos de estos procesos, las empresas definen la mejor manera de utilizar sus recursos a través de la organización de sus factores productivos, generando características particulares sobre la manera de usar la energía. Esta organización incluye aspectos como el diseño de instalaciones, el diseño de procesos y la distribución de planta. Adicionalmente, los usos estarán modelados por el tipo de equipos que se utilicen (por ejemplo, los tipos de calderas o tipos de) los cuales a su vez podrán depender de otras variables como el tipo de energéticos primarios que se utilicen o aspectos relacionados con el entorno. Estos factores se incluyen en el modelo como *Diseño del proceso productivo* y *Tipo de tecnología*.

Los aspectos productivos también caracterizan los consumos de energía que teóricamente debería generar la empresa. El consumo útil teórico de la energía se relaciona con la energía directa- identificada en el modelo de Rahimifard, Seow, & Childs (2010) o la energía que resultaría de eliminar todos los desperdicios energéticos o consumos energéticos no esenciales (NEEC) desde una filosofía de *Lean Manufacturing* (Gopalakrishnan et al., 2012) (Abels et al., 2011). Finalmente, las características de eficiencia energética teórica de los equipos están relacionados con la eficiencia nominal que obedece a sus características técnicas y de fabricación, y a la eficiencia estacional, que tiene en cuenta un periodo de tiempo significativo para el cálculo de la eficiencia.

De otra parte, las variables del entorno definen algunos aspectos sobre los usos de la energía, aun cuando su influencia resulta menor que los factores internos (Liu et al.,

2014). En primer lugar, la ubicación de la planta define algunos aspectos sobre el uso de la energía. Por ejemplo, las condiciones climáticas afectan los procesos de soporte (ventilación, refrigeración) y en algunos casos los requerimientos energéticos de los procesos productivos. De igual manera, estas condiciones pueden repercutir en aspectos como el acceso a energéticos primarios o la disponibilidad de materias primas o insumos de producción determinando distintos usos de la energía para la empresa y sus consumos relacionados (por ejemplo, disponibilidad de fuentes acuíferas que requieren bombeo). Finalmente, el entorno competitivo también juega un papel en las variables de uso y consumo de la energía.

En las características del entorno también se incluye la influencia de actores externos. De una parte, se contempla el entorno competitivo, el cual tiene asociado un posible mimetismo de las empresas (ver Liu, Yamamoto, Suk, (2014)), donde se tiende a seguir a las empresas líderes impactando en variables de organización interna de los procesos. Igualmente, se contempla el entorno regulatorio y normativo, como una fuerza externa que puede incidir en la adopción de algunos elementos específicos para la organización productiva (afectando los usos) o en la adopción de prácticas de ahorro energético (afectando los consumos).

### **Factores que impactan el desempeño energético de una industria**

Los factores que impactan el desempeño energético pueden entenderse como aquellos que hacen que dos empresas con las mismas características (esto es, que compartan las mismas condiciones respecto a los factores de la parte superior de la Figura 3), tengan diferente desempeño energético. Estos factores se agruparon en asociados al proceso productivo, a los procesos de soporte, a los usuarios finales de la energía, al modelo organizacional y al entorno.

En los aspectos productivos, las prácticas operacionales y las prácticas de mantenimiento destacan como los principales factores que hacen variar los consumos finales de la empresa. Los aspectos operacionales incluyen actividades como el establecimiento y aseguramiento de parámetros óptimos de operación para las variables relevantes y la organización de la producción para disminuir tiempos de operación en vacío. Estos aspectos son contemplados en la norma ISO 50001 bajo el numeral control

operacional y se estudian frecuentemente en la literatura asociados a la brecha de eficiencia energética (Paramonova et al., 2015).

Las prácticas operacionales afectan las tres dimensiones del desempeño pues pueden modificar los usos finales de energía establecidos para el proceso productivo (por ejemplo, el uso de aire comprimido para remover virutas de los equipos es una modificación al uso previsto dentro del diseño de proceso), aumentar los consumos y afectar la eficiencia energética de los equipos. De igual manera, las deficiencias en prácticas de mantenimiento, además de afectar consumos, pueden modificar en medida amplia la eficiencia energética de los equipos. Un factor adicional contemplado es la antigüedad que los equipos, la cual reduce la eficiencia energética de los equipos en el tiempo afectando su desempeño energético.

Además de las variables asociadas a los procesos productivos, en el modelo se incluyen los procesos de soporte. El primero de los factores contemplado en esta categoría se refiere a los sistemas de adquisición y procesamiento de información. Estos aspectos cobran relevancia en el ámbito de los sistemas de gestión de la energía pues permiten soportar los aspectos de seguimiento y control, siendo especialmente relevantes para el seguimiento de consumos, variables relevantes e indicadores de desempeño energético. De igual manera sirven como herramientas de soporte para el control operacional y la comunicación efectiva dentro del sistema.

Como segundo elemento en los factores de soporte se incluyen los sistemas de gestión organizacional. Los sistemas de gestión con mayor difusión son los sistemas de gestión de la calidad basados en ISO 9001, seguidos de los sistemas de gestión ambiental basados en ISO 14000 (ISO, 2018). Para el ámbito del desempeño energético son especialmente relevantes los sistemas de gestión de la energía ISO 50001, que ocupan el sexto lugar en número de empresas con certificación entre el listado de seguimiento de la organización ISO. Los sistemas de gestión impactan tanto en el desempeño técnico de medidas de eficiencia como en su adopción efectiva por parte de las empresas.

De otra parte, algunas características asociadas a la estructura y cultura organizacional de la empresa también afectan la manera en que la energía es usada. Como se ha evidenciado en la revisión de la literatura, los factores internos, tales como involucramiento de la gerencia o la cultura de la organización, tienen impacto sobre la

adopción de prácticas de eficiencia en las industrias y por ende afectan el desempeño energético (Liu et al., 2014). Estos factores también influyen en el desempeño técnico de dichas acciones, incidiendo en un adecuado uso de la energía y en el aumento o disminución de consumo frente a la energía útil requerida para el proceso. En el planteamiento se incluyen las actividades de innovación como un elemento que potencia el desempeño técnico de las medidas de mejora energética y potencia otros aspectos de la organización (Rizzi et al., 2018) y la gestión del conocimiento como un factor que permitirá que la energía se use siguiendo modelos óptimos de producción y que las prácticas de mejora se mantengan en el tiempo.

Una tercera clasificación de factores que impactan el desempeño energético se asocia al personal involucrado en el uso final de la energía. Las variables identificadas dentro de esta categoría son la cultura y las capacidades de aprendizaje de la empresa. La cultura se asocia a la consciencia sobre la eficiencia energética (Trianni et al., 2019) y se interrelaciona con aspectos como las actividades de innovación en la empresa y el modelo gerencial. La capacidad de aprendizaje incluye aspectos como la existencia de personal con conocimiento específico sobre el uso y el consumo de la energía y la capacidad de la empresa para desarrollar y mantener el aprendizaje (*know how*).

Finalmente se registran variables relacionadas con el entorno. Se señalan las tarifas y precios de los energéticos primarios, que pueden motivar a la empresa a incentivar aspectos de eficiencia energética y a modificar aspectos productivos y organizacionales. Adicionalmente se indica la variación en la demanda de productos intensivos en energía como un factor que incide en los consumos de la empresa.

## **5.Revisión de estudios energéticos del sector industrial colombiano y de información complementaria**

En el presente capítulo se explora la información energética del sector industrial que se ha desarrollado desde las entidades colombianas en búsqueda de un marco amplio de información para la toma de decisiones.

### **5.1 Antecedentes nacionales**

Los trabajos nacionales relacionados con la caracterización del desempeño energético de la industria se asocian principalmente con las actividades de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). Complementariamente el sector industrial y el sector académico han desarrollado actividades encaminadas a promover la eficiencia energética, bajo la sombrilla de la normatividad colombiana en eficiencia energética representada en la ley 697 de 2001 y de los planes de acción indicativos del Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PROURE). De otra parte, el marco normativo se ha fortalecido en los últimos años bajo la ley 1715 de 2014, principalmente en lo referente a energías renovables y cambios relacionados con la transición energética colombiana.

En las siguientes secciones se amplía esta información resaltando los aspectos de mayor interés para el trabajo desarrollado.

### **Caracterizaciones energéticas en sectores de consumo final en la industria realizadas en Colombia.**

La estructura actual del sector energético colombiano se sustenta en las reformas del sector adelantadas en la década de 1990, principalmente en las leyes 142 y 143, que tratan

el régimen de servicios públicos domiciliario y el régimen de actividades del sector eléctrico y gas.

Bajo este marco se reorganizaron las funciones de los organismos del sector energético para modelar un mercado con intervención del estado como ente regulador. Las funciones de planeación se encuentran asignadas a la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) como entidad Administrativa Especial adscrita al Ministerio de Minas y Energías (Minminas, 2013). Debido a su naturaleza y objetivos, la UPME tiene asignadas algunas funciones relacionadas con la caracterización de la industria dentro de las que destacan:

- Establecer los requerimientos mineros y energéticos de la población y los agentes económicos del país, con base en proyecciones de demanda que tomen en cuenta la evolución más probable de las variables explicativas en un contexto nacional e internacional.
- Desarrollar análisis económicos de las principales variables sectoriales, evaluar el comportamiento e incidencia del sector minero y energético en la economía del país y proponer indicadores para hacer seguimiento al desempeño de estos sectores lo cual servirá de insumo para la formulación de la política y evaluación del sector.
- Realizar diagnósticos y estudios que permitan la formulación de planes y programas orientados a fortalecer el aporte del sector minero y energético a la economía y la sociedad en un marco de sostenibilidad.
- Adelantar los estudios y apoyar en materia minero energética que requiera el Gobierno Nacional (sic) para la formulación de la política sectorial.
- Desarrollar y mantener un sistema adecuado de información sectorial y subsectorial para apoyar la toma de decisiones de las autoridades, los agentes públicos y privados y el uso del público en general de conformidad con el Decreto número 4130 de 2011 y demás normas que modifiquen o sustituyan.
- Elaborar y divulgar el balance minero energético nacional, la información estadística, los indicadores del sector minero energético, y demás informes y estudios de interés

En cumplimiento de estas funciones la UPME mantiene indicadores de consumo a través del balance energético colombiano (BECO). De igual manera ha realizado trabajos y consultorías para atender a necesidades específicas que no se encuentran cubiertas por las actividades que realiza a través de sus unidades funcionales. La información contenida en el BECO y en otros trabajos pertinentes se resume a continuación:

**Balance Energético Colombiano (BECO):** En el BECO se incluyen indicadores de consumo para los subsectores industrial, residencial, comercial y público, transporte, agropecuario, minero y construcciones. Dentro del sector industrial, se manejan 23 subsectores. La metodología de actualización de los balances utiliza información primaria de distintas instituciones, y en amplia medida se basa en simulaciones y análisis estadísticos. Se han identificado deficiencias en la información final de los balances que se han atendido a través de ejercicios específicos de actualización (UPME, 2014).

Actualmente el BECO se presenta en la página web de la UPME bajo un formato de tabla exportable a hojas de cálculo con el fin de resultar de mayor utilidad para los usuarios. La unidad se encuentra trabajando para que la información se actualice mensualmente de modo que pueda involucrarse activamente en la toma de decisiones.

Recientemente la UPME contrató una consultoría para la realización de un balance de energía útil con datos a 2015 (UPME, 2019). El estudio recopiló información sobre usos finales de energía para cada subsector de consumo y desarrolló una plataforma para cálculo de energía útil bajo un enfoque *bottom up*. Para el cálculo de la energía útil se utilizaron referencias de tecnología disponible a nivel nacional y de mejor tecnología disponible en el ámbito mundial (BAT, por sus siglas en inglés). Para el subsector industrial se utilizó principalmente información obtenida de la Encuesta Anual Manufacturera y de los estudios de potencial de reducción del consumo energético por código CIUU que se referencian en los siguientes párrafos. El informe final de la consultoría señala que el subsector industrial presenta incertidumbres bajas en datos de referencia para los principales sistemas de uso final de energía (motores y calor directo) que contrastan con incertidumbres medias y altas para la información de referencia tecnológica en hornos.



### ***Caracterizaciones energéticas para sectores manufactureros***

En el 2014 se desarrollaron dos consultorías para la UPME enfocadas en la determinación de potencial de reducción de consumos energéticos manufactureros en Colombia divididas según código CIUU. Esta información representa una fuente de información para la caracterización de usos finales de energía y se ha vinculado en estudios como el balance de energía útil (2019) o la elaboración de planes de acción para sectores priorizados por el Programa de Transformación Productiva PTP (E&Y & PTP, 2017)<sup>1</sup>. A continuación, se describen los resultados de estos estudios:

#### **Determinación del potencial de reducción del consumo energético en los subsectores manufactureros códigos CIUU 10 a 18 (UPME & Incombustion, 2014).**

Este estudio se trabajó sobre un muestreo de los sectores seleccionados (alimentos, bebidas, confecciones, cuero, impresiones, madera, papel, tabaco y textiles) que abarcó un total de 212 empresas. El trabajo incluyó la cuantificación de consumos energéticos anuales (eléctricos y térmicos), el consumo específico por empresa (total producción/consumo de energía eléctrica o térmica) y por sector, la relación entre el uso de energía eléctrica y energía térmica, un censo de cargas energético y térmico (horas de uso estimadas multiplicada por la potencia de los equipos o por el consumo de combustible) por empresa y un agregado por subsector.

En Tabla 4 se muestra la información resumen de este análisis inicial que incluye los consumos específicos eléctricos y térmicos encontrados para cada subsector y la relación entre ambos.

---

<sup>1</sup> El programa de transformación productiva (PTP) y Ernst & Young utilizaron los resultados de estos estudios para caracterizar sectores priorizados, donde la información de consumos se complementó con un análisis de costos de energéticos con base en información de la Encuesta Anual Manufacturera (EAM) y un inventario de empresas. El trabajo además realizó un aplicativo para que, a partir del análisis realizado, se identifiquen las oportunidades más importantes para una empresa tanto para reducción de la demanda como para negociación de la tarifa y describe la diferente gama de oportunidades planteadas

A nivel de usos finales, se agrupó la información de consumo por fuerza motriz (excluyendo motores usados en refrigeración y aire comprimido); refrigeración; aire comprimido; iluminación; aire acondicionado; equipos de oficina; calentamiento directo; combustión para generación de vapor y combustibles para calentamiento directo. Esta información se presenta agregada por subsectores. Posteriormente se presenta el análisis por subsector (a dos dígitos CIUU) y se analizan algunas características reflejadas en subsectores a tres dígitos y por región.

Sector industrial	Unidades de producción	Consumo específico eléctrico (kWh/U.Producción)				Consumo específico térmico (kWh/U.Producción)				Relación energética térmica / energía eléctrica			
		Mínimo	Mediana	Promedio	Máximo	Mínimo	Mediana	Promedio	Máximo	Mínimo	Mediana	Promedio	Máximo
Alimentos	Toneladas	0,371	146,3	449,6	6995,3	0,226	592,5	62987,4	4635545	0	2,76	690,6	35870,3
Bebidas	Hectolitros	1,828	5,22	9,78	30,86	1,382	6,57	12,56	52,276	0	1,28	1,52	5,39
Confecciones	Toneladas	20,48	1934,2	15402,4	82803,5	513,5	2761,1	9617,46	60176,5	0	0	0,547	3,35
Cueros	Unidades	0,27	1,93	4,4	18,1	0,146	4,54	12,01	38,8	0	0	0,8	3,52
Impresiones	Toneladas	0,15	439,8	531,9	1442,12	0	0	0,1	0,8	0	0	0	0
Madera	Toneladas	13,92	124,43	227,36	766,53	4,63	342,5	606,4	1732,3	0	0,17	1,76	9,94
Papel	Toneladas	21,67	636,6	809,9	2726,6	6,68	2567,6	2846,5	8246,2	0	2,6	2,6	6,75
Textil	Toneladas	226,3	1424,1	1354,7	3107,2	0,141	10253	10462	24412,5	0	0,9	4,542	16,16

**Tabla 4.** Consumos específicos eléctricos y térmicos CIUU 10 a 18 (Fuente: UPME, Incombustión 2014)

En el análisis de cada subsector, el documento menciona problemas generalizados cuya principal consecuencia es la variabilidad en los consumos específicos al interior de un mismo subsector. Entre estos problemas se encuentran:

- Unidades no homogéneas en producción que afectan el consumo específico final (diferentes productos finales, referencias con dimensiones y características distintas). El trabajo no aborda estrategias para resolver esta problemática y únicamente se realiza una aproximación para el sector madera, donde las unidades se homogeneizaron con base en datos de densidad volumétrica y superficial.
- Diferencias en la forma de reportar las unidades finales para un mismo producto (por ejemplo, diferentes empresas pueden reportar el mismo producto en unidades finales, toneladas o metros cúbicos).

- Generación de productos finales que no corresponden al CIUU lo que afecta los indicadores finales (especialmente en sector alimentos y textil).
- Productos intermedios al interior de los procesos de producción.
- Servicios intermedios no relacionados con CIUU (en especial en el sector textil).
- Sobredimensionamiento de equipos especialmente en empresas pequeñas (alimentos, textil).

Teniendo en cuenta los factores anteriores, el estudio expresa que la clasificación industrial por código CIU no es un buen sistema para categorizar el uso de la energía y menciona la opción de usar otro sistema que agrupe las empresas con base en la homogeneidad de sus procesos productivos, no obstante, esta idea no es desarrollada.

De otra parte, se observa que en la mayoría de los subsectores las empresas de menor tamaño tienden a tener mayores consumos específicos. El estudio indica como posible causa un sobredimensionamiento de las operaciones y equipos utilizados. Otras problemáticas que se observan en el estudio incluyen la variación en el consumo específico debido al menor o mayor uso de calentamiento directo, la alteración de consumos específicos por existencia de cogeneración y la ausencia de información organizada de inventarios de equipos o placas para tomar los registros.

En un segundo apartado, el documento analiza el estado de las tecnologías medulares con mayor demanda para los subsectores: uso del vapor, fuerza motriz, aire comprimido y refrigeración. Para algunos tipos de tecnología se realizó medición directa de variables energéticas, por ejemplo, exceso de aire en calderas mediante el uso de analizadores portátiles de gases de combustión.

El estudio concluye con propuestas de estrategias de mejora que se centran en programas de eficiencia energética para equipos y sustitución o reemplazo de tecnología.

**Determinación y priorización de alternativas de eficiencia energética para los subsectores manufactureros códigos CIU 19 a 31 en Colombia a partir de la caracterización del consumo energético para sus diferentes procesos, usos y equipos de uso final (UPME; CORPOEMA, 2014).**

El estudio trabajó con una muestra de 330 empresas (sobre una población calculada en 2752 empresas) perteneciente a los siguientes subsectores:

- División 19: Coquización, fabricación de productos de la refinación del petróleo y actividad de mezcla de combustibles
- División 20: Fabricación de sustancias y productos químicos
- División 21: Fabricación de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales y productos botánicos de uso farmacéutico
- División 22: Fabricación de productos de caucho y de plástico
- División 23: Fabricación de otros productos minerales no metálicos
- División 24: Fabricación de productos metalúrgicos básicos
- División 25: Fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo
- División 26: Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos
- División 27: Fabricación de aparatos y equipo eléctrico
- División 28: Fabricación de maquinaria y equipo N.C.P.
- División 29: Fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques
- División 30: Fabricación de otros tipos de equipo de transporte
- División 31: Fabricación de muebles, colchones y somieres

Para cada subsector se incluyeron los grupos y clases que los componen (según agrupación CIIU), así como diagramas de proceso con las operaciones principales asociadas a cada proceso industrial.

El análisis inicial se realizó a partir de información secundaria tal como los Balances energéticos de la UPME, la Encuesta Anual Manufacturera del DANE, el Sistema Único de Información (SUI) de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), consumos de energía eléctrica de usuarios no regulados de XM y Consumos de Gas natural de Concentra.

La caracterización del sector se realizó parcialmente con información de fuentes secundarias (distribución de establecimientos por tamaño, estimación de producción

bruta, consumo de energéticos para el sector) y parcialmente con información levantada de las empresas (identificación de usos finales de energía por subsector).

Posteriormente se hizo un análisis por usos finales de energía en motores, calor directo y calor indirecto, registrando datos como potencia instalada por subsector y edad promedio de los equipos. Finalmente se realizó una identificación de medidas de eficiencia energética con base en la información recogida en campo, se indicó el porcentaje de industrias que ya habían adoptado cada medida y se calculó el porcentaje de ahorro asociado a cada tipo de medida por subsector.

Los resultados de este estudio presentan diferencias en enfoque con el realizado para los CIUU 10-18, pero mantienen una línea de trabajo similar que ha permitido involucrarlos en trabajos posteriores de la UPME y otros actores de interés.

## **Trayectoria nacional en Sistemas de Gestión de la Energía**

En la presente sección se recopila la trayectoria del país en el área de sistemas de gestión de la energía, resaltando principalmente el trabajo de las Universidades colombianas dentro de la Red Colombiana de Conocimiento en Eficiencia Energética, RECIEE. Esta revisión permite entender los pasos que el país ha dado hasta la difusión de la norma ISO 50001 de la cual se toma el concepto de desempeño energético.

Algunos antecedentes iniciales se presentan en la década de los ochenta con la realización de estudios energéticos en varios sectores industriales con apoyo del Ministerio de Minas y Energía, Colciencias y la OEA (Colciencias, UPB, & EPM, 2001). En los noventa e inicios del 2000 destacan publicaciones sobre la administración de los recursos energéticos y el uso racional de la energía, que desarrollan los modelos matemáticos que posteriormente se integrarían a los conceptos de líneas base e indicadores de desempeño energético para sistemas de gestión de la energía.

Posteriormente, O.Prias plantea un modelo inicial para recoger la relación entre energía, tecnología y ambiente; es decir, un modelo general que relaciona la gestión de la tecnología con la gestión ambiental y la gestión energética (Prias, 2006). Tomando los anteriores referentes, en el año 2007 se desarrolló e implementó el Sistema de Gestión Integral de la Energía – (SGIE) en algunas industrias colombianas, con financiación de la

UPME y Colciencias, orientado al mejor uso de la energía desde una perspectiva de gestión (González et al., 2012).

Entre el 2008 y el 2011, la Cámara de Comercio de Bogotá, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Fondo Multilateral de Inversiones (FOMIN), desarrollaron el proyecto *Oportunidades de Mercado para Eficiencia Energética y Energías Limpias*, OPEN (BID, FOMIN, & CAEM, 2012). El proyecto buscó promover la eficiencia energética y las energías limpias en las en pequeñas y medianas empresas, así como el desarrollo de un mercado de servicios energéticos (ESCO).

El OPEN realizó asistencias técnicas en 180 empresas en Bogotá y su región de influencia, que incluyeron diagnósticos de recorrido, identificación de oportunidades de mejora y visitas de seguimiento. Igualmente, desarrolló 12 proyectos de energía limpia o eficiencia energética en PyMEs, bajo asesoría de universidades y firmas especializadas. En un tercer componente, se adelantaron acciones para crear un mercado de servicios energéticos (ESCO) que incluyeron identificación de proveedores, esquemas con actores del sector financiero y una rueda de negocios en la que se cerraron 9 negocios. Complementariamente se desarrollaron capacitaciones y eventos para el encuentro entre la oferta y la demanda (BID et al., 2012).

Entre el 2010 y el 2013, se ejecutó el Programa Estratégico Nacional Sistemas de Gestión Integral de la Energía (PEN-SGIE), iniciativa Universidad – Empresa - Estado para impulsar la adopción de Sistemas de Gestión de la Energía en la industria colombiana (Prías & Montaña, 2014). El programa fue ejecutado por la red RECIEE, con 15 universidades en 5 regiones del país y contó con financiación de Colciencias, la UPME y empresas de energía (SGIE, 2013) .

Los resultados del PEN-SGIE incluyen la ampliación de oferta en gestión y eficiencia energética mediante programas educación continua y materias de en programas de posgrado y pregrado, la capacitación de 300 gestores energéticos y la asesoría a 50 industrias ubicadas en 5 regiones del país, que desarrollaron las etapas iniciales de implementación de un sistema de gestión integral de la energía (SGIE, 2013).

El trabajo conjunto entre universidades y otros actores dentro del PEN-SGIE permitió la creación de un comité técnico nacional en gestión de la energía (CTN 228) y la adopción del estándar internacional ISO 50001 (Sistemas de Gestión de la Energía Lineamientos

con Orientación para su Uso) como norma técnica colombiana. La norma establece los lineamientos para la adopción de Sistemas de Gestión de la Energía, recogiendo la experiencia de diversos países y expertos internacionales. Colombia inició el proceso de adopción de la norma a la par de su publicación y recientemente realizó la actualización a la segunda versión bajo la NTC-ISO 50001:2019.

Entre el 2014 y 2018, el Programa para la Consolidación de la Red Colombiana de Conocimiento en Eficiencia Energética RECIEE, financiado por Colciencias, continuó el trabajo de difusión de SGE en la industria. Dentro del programa se desarrolló el proyecto *Consolidación del SGIE y su impacto en el sector productivo bajo estándares internacionales*, que fomentó la implementación de sistemas de gestión de la energía en 50 organizaciones y desarrolló actividades complementarias, como cursos de medición y monitoreo de variables de energía centrados en la industria (RECIEE, 2018).

Sobre esta base, entre el 2016 y el 2019 la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) y la UPME ejecutaron el programa Eficiencia Energética para la Industria Colombiana (EEI Colombia). Este programa seleccionó 4 regiones que no se habían priorizado en iniciativas anteriores (eje cafetero, norte de Santander, Santander y Boyacá) para formar personal de industrias en Sistemas de Gestión de la energía, acompañando paralelamente la implementación de un SGE en bajo lineamientos de la ISO 50001 en cada empresa.

A través de esta trayectoria el país cuenta con una base de gestores energéticos formados, empresas con acciones adelantadas en sistemas de gestión de la energía y un comité nacional en gestión de la energía que aporta al desarrollo mundial de las normas de la familia ISO 50001 y promueve su implementación en el país.

### **La caracterización energética desde la metodología del Sistema de Gestión Integral de la Energía SGIE**

Dentro de los antecedentes citados, se ampliará la descripción de la metodología usada en el trabajo con organizaciones beneficiarias de los programas de la red RECIEE para la difusión de Sistemas de Gestión de la Energía, cuya información se utilizará en los análisis posteriores del presente documento.

La metodología de trabajo empleada en cada uno de estos programas se describe en las memorias correspondientes (PEN-SGIE, 2013; RECIEE, 2018). En enfoque se basa en el modelo SGIE (publicado en 2007), que consta de tres fases: Decisión estratégica, instalación del sistema y operación. Las actividades de cada fase se muestran en la Tabla 5. El modelo SGIE es anterior a la norma ISO 50001 sin embargo se basa en los mismos principios y tiene un enfoque estructural similar.

Dentro del PEN-SGIE (2010-2013), la metodología de trabajo con industrias se basó en el modelo del SGIE realizando ajustes para fortalecer algunos elementos y alinearse con la ISO 50001. Como se muestra en la Figura 4, la etapa de decisión estratégica se mantuvo (priorizando algunas actividades) y la segunda etapa fue denominada implementación, reestructurando las actividades para una mayor alineación con la norma.

El PEN-SGIE en su conjunto buscó la creación de capacidades en industria. Para ello, se realizó capacitación a representantes de empresas beneficiarias para que estuvieran en capacidad de implementar elementos de un SGE en sus industrias y posteriormente se realizaron acompañamientos por parte de la Universidad.

Las actividades de intervención en industria por parte de gestores proporcionados por el programa consistieron en el desarrollo de la etapa de Decisión Estratégica en 50 industrias y el desarrollo de la etapa de implementación en 14 de ellas. La etapa de decisión estratégica recayó mayoritariamente en gestores proporcionados por el programa, en la etapa de implementación se asignaban tareas específicas a las industrias (mostradas en los cuadros sin relleno de la Figura 4) y la etapa de operación estaba destinada a ser realizada en su totalidad por las empresas.

El programa se realizó en cinco regiones bajo liderazgo de los grupos de investigación locales. El programa buscó uniformidad en la metodología y registros de información de todas las regiones sin embargo hubo divergencias de enfoque que generaron diferencias en los contenidos de los informes finales de decisión estratégica e implementación.

Para el programa de consolidación de la Red RECIEE (RECIEE, 2018), específicamente para el proyecto consolidación de los SGIE en el sector productivo, se retomó la metodología con algunos cambios. Para lograr una mayor uniformidad en los informes, se establecieron guías metodológicas, así como plantillas con un mayor nivel de descripción de los contenidos. La metodología utilizada se muestra en la Figura 5.



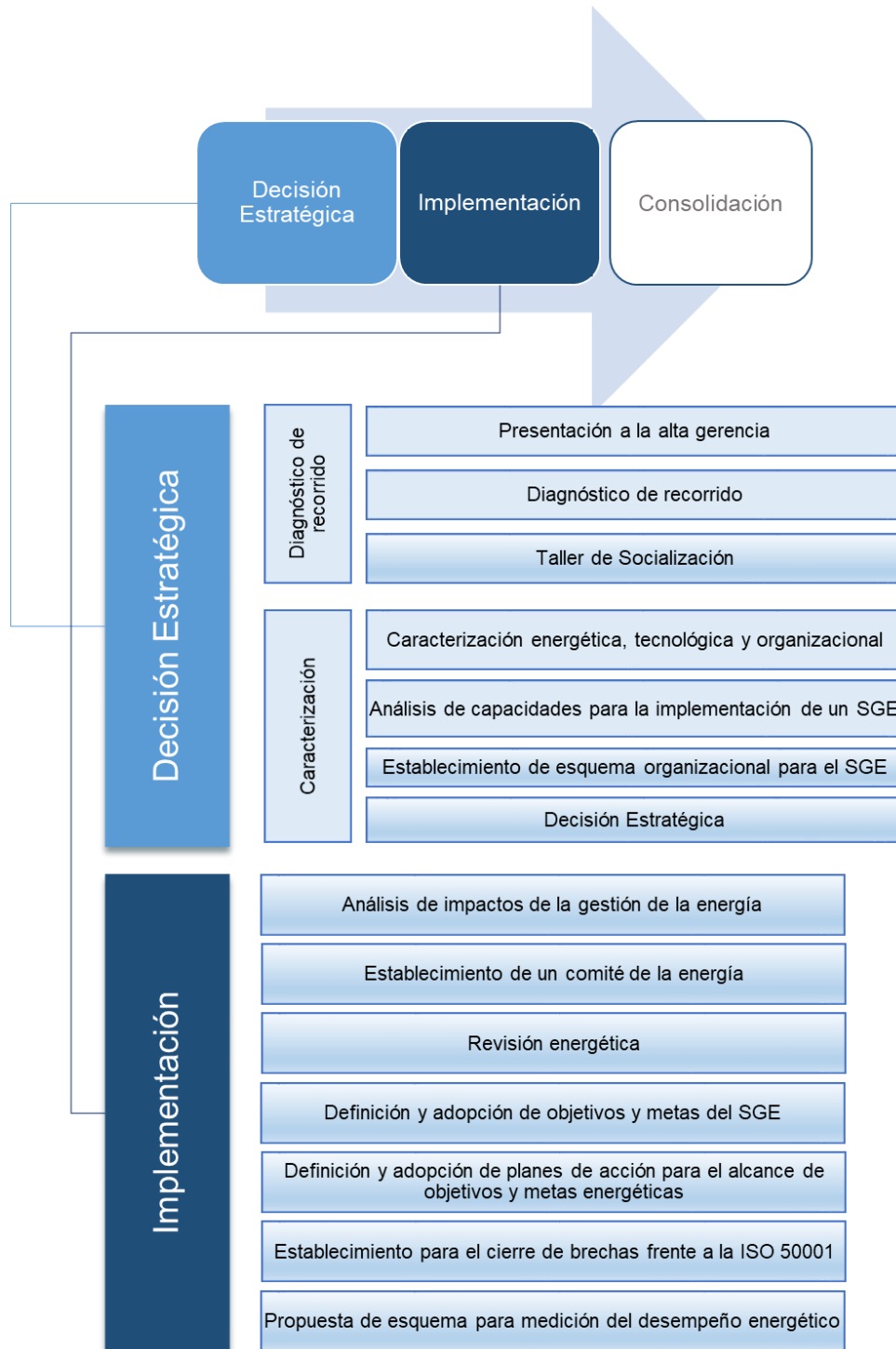
**Tabla 5.** Pasos para la implementación del SGIE según el modelo SGIE 2007

<b>Etapas</b>	<b>Actividades</b>	<b>Meses</b>	<b>Objetivo</b>
Decisión Estratégica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterización Energética de la Empresa</li> <li>• Compromiso de la Alta Dirección</li> <li>• Alineación de Estrategias</li> <li>• Definición y Conformación de la Estructura Técnica y Organizacional</li> </ul>	2 Meses	Potencial rentabilidad del SGIE. Asignación de recursos.
Instalación del SGIE en la Empresa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecimiento de los Indicadores del Sistema de Gestión</li> <li>• Identificación de las Variables de Control por Centros de Costo</li> <li>• Definición de los Sistemas de Monitoreo</li> <li>• Diagnóstico Energético</li> <li>• La vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva</li> <li>• Plan de Medidas de Uso Eficiente de la Energía</li> <li>• Actualización y Validación de la Gestión Organizacional del SGIE</li> <li>• Preparación del Personal</li> <li>• Elaboración de la Documentación del SGIE</li> <li>• Auditoría Interna al SGIE</li> </ul>	5 meses	Crear la estructura organizativa, las bases técnicas, preparar e involucrar al personal, identificar los programas, documentar el SGIE y verificar la capacidad de la empresa para ejecutar el SGIE.
Operación del Sistema de Gestión Integral de la Energía en la Empresa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seguimiento y divulgación de indicadores</li> <li>• Seguimiento y evaluación de buenas prácticas de operación, mantenimiento, producción y coordinación</li> <li>• Implementación de Programas y Proyectos de Mejora</li> <li>• Implementación del Plan de Entrenamiento y Evaluación del personal</li> <li>• Chequeos de gerencia</li> <li>• Ajustes del sistema de gestión</li> <li>• Evaluación de resultados</li> </ul>	6 meses	Ejecutar los programas, cuantificar los resultados, ajustar y actualizar modelos, verificar presupuestos de ahorros.

Fuente: Sistema de Gestión Integral de la Energía Guía para la Implementación. (UPME, 2007)



**Figura 4.** Metodología de trabajo con industrias programa PEN-SGIE (2010-2013).  
(Elaboración propia con base en la documentación del programa facilitada por el grupo de investigación GRISEC)



**Figura 5.** Metodología de Trabajo con Empresas Beneficiarias Programa de consolidación de la Red RECIEE (2014-2018)  
(Elaboración propia con base en la documentación del programa facilitada por el grupo de investigación GRISEC)

Como se observa, en la metodología del SGIE desarrollada en el 2007 se incluye una actividad de caracterización energética que se ha mantenido en la metodología usada en los diferentes programas. La información de industrias contenida en la sección de los informes de decisión estratégica del programa de consolidación de la red RECIEE se realizó bajo la siguiente estructura:

- Caracterización energético-productiva
  - Descripción del manejo de la información energético productiva
  - Usos y consumos de la energía en la empresa
  - Análisis de demanda energética
  - Matriz Energética
  - Diagramas de Pareto de consumos energéticos
  - Diagrama energético Productivo
- Línea de base energética e indicadores de desempeño energético (IDE)
- Potenciales de ahorro
- Caracterización tecnológica
- Capacidades en vigilancia y gestión del conocimiento tecnológico
- Caracterización tecnológica de áreas con uso significativo de energía
- Capacidades organizacionales para la implementación de un SGE

La información consignada en los informes del programa de consolidación la Red RECIEE será utilizada en análisis posteriores del trabajo. El planteamiento usado en este programa recoge la evolución del modelo SGIE y ha sido incorporada en programas posteriores como el programa EEI Colombia realizado con ONUDI o el acompañamiento a implementación en empresas beneficiarias de la cámara de comercio de Bogotá. Por esta razón, resulta pertinente para los fines del actual trabajo.

## **5.2 Fuentes de información complementarias sobre la industria**

Como parte de las fuentes de información que proporcionan datos relacionados con el desempeño energético del sector industrial, se identificaron las encuestas del

Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE) y el Consejo Privado de Competitividad. A continuación, se describe de manera breve el objetivo e información contenida en estas fuentes

### **Encuesta Anual Manufacturera (EAM)**

La encuesta anual manufacturera (tiene como objetivo obtener la información básica del sector manufacturero para conocer su estructura, características y evolución. Se realiza con frecuencia anual y se aplica al universo de las empresas nacionales del sector manufacturero (CIUU revisión 4) a partir de un tamaño especificado. Para el 2016 se aplicó a 8466 establecimientos y para el 2017 a 8214.

La información de las empresas incluye datos de identificación y clasificación, (p. ej año de constitución, departamento, actividades según CIUU), información de ingresos, costos y gastos, personal empleado, materias primas y productos elaborados e información de uso de tecnologías de la información y la comunicación.

El módulo IV registra información de energéticos consumidos y valor pagados por los mismos. Se incluye electricidad (teniendo en cuenta energía comprada, generada y vendida) y 15 tipos de energéticos distintos reportados en unidades energéticas (Petróleo, Diesel, Fuel oil, gasolina, querosén, gas natural, gas propano, carbón mineral, carbón coque, carbón vegetal, leña, bagazo de caña, cascarilla de arroz, cascarilla de café, residuos de palma).

### **Encuesta de Innovación y Desarrollo Tecnológico para el Sector Manufacturero (EDIT Manufacturera)**

La EDIT tiene como objetivo caracterizar la dinámica tecnológica y analizar las actividades de innovación y desarrollo tecnológico en las empresas del sector industrial. Se realiza con cada dos años y trabaja bajo el CIUU revisión 4 adaptado para Colombia. Utiliza el universo de la Encuesta Anual Manufacturera, pero en la práctica es contestada por un número menor de empresas (para el periodo 2015-2016, contestaron 7947).

La encuesta incluye información de adopción de innovaciones de productos, procesos y mercados, los impactos asociados a estas innovaciones (por ejemplo, aumento de

productividad o reducción del consumo de energía), los obstáculos para la innovación, las inversiones en actividades de Ciencia, Tecnología e Innovación, el personal ocupado en este tipo de actividades y la relación con actores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTI).

### **Indicadores del consejo privado de competitividad**

El consejo privado de competitividad fue creado en el 2006 por empresas y universidades colombianas con el fin de identificar perspectivas de competitividad para el país. El consejo mantiene indicadores en tres sistemas de información Sistema Internacional de Indicadores de Competitividad (SIICO), índice Departamental de competitividad (Índice Departamental de Competitividad) e Índice de Competitividad de Ciudades.

Aunque ninguno de los sistemas trata directamente información de competitividad discriminada por sectores industriales, si posee información complementaria tal como estadísticas de tamaño de mercado, formación y capacitación, eficiencia de mercados e innovación y dinámica empresarial, discriminada por regiones geográficas.

### **Información del Programa Colombia Productiva**

El programa Colombia Productiva nace en el 2008 a través del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, bajo el nombre Programa de Transformación Productiva (PTP). Busca brindar herramientas y apoyo para incrementar las capacidades productivas y de competitividad de sectores manufactureros, agroindustriales y servicios.

Actualmente el PTP cuenta con 18 sectores priorizados<sup>2</sup>. Para priorizar acciones en los sectores, el programa realiza informes de competitividad que involucran una evaluación multidimensional. El análisis se hace desde el ámbito competitivo fijando planes sectoriales que parten de las metas de posicionamiento en el mercado. De aquí se

---

<sup>2</sup> Cacao y sus derivados, Cafés especiales y derivados de café, Piscicultura, Carne bovina, Lácteos, Frutas y sus derivados - aguacate Hass, piña, mango y papaya, Alimentos procesados, Industrias del movimiento - autopartes, astillero y aeronáutico, Industrias para la construcción, Sistema moda, Cosméticos y aseo, Farmacéutico, Química básica, Plástico y pinturas, BPO, KPO e ITO, Software y TI, Turismo de bienestar y Turismo de naturaleza.

desprende un análisis de capacidades del sector (incluyendo aspectos como capital humano, infraestructura y sostenibilidad) que lleva a plantear estrategias finales.





## **6.Planteamiento de un modelo para análisis de capacidades organizacionales en función del desempeño energético**

En este capítulo se propone un modelo para complementar la información de los estudios nacionales relacionados con el desempeño energético del sector industrial colombiano, en pro de contar con una visión integral del desempeño energético. El análisis parte de la revisión de los elementos organizacionales desagregados en el capítulo anterior.

A través del análisis se priorizan cinco categorías organizacionales para ser abordadas: estructura organizacional, cultura, estrategia, competencias del personal y capacidades de soporte al desempeño energético. Con esta base, se propone un modelo en el que se construya una calificación para cada una de estas categorías y se contraste con los resultados con una variable dependiente asociada al desempeño energético.

El planteamiento inicial del modelo buscaba ser alimentado con datos de las encuestas del DANE (EAM y EDIT) junto a información complementaria levantada de las empresas beneficiarias de programas de la Red RECIEE. No obstante, se identificó que la información de las encuestas referenciadas no era adecuada para el objetivo del modelo y por ello se propone un esquema de alimentación tomando únicamente variables obtenidas del trabajo con empresas beneficiarias de RECIEE.

En los capítulos siguientes se describirán los resultados de la validación del modelo y se realizarán recomendaciones para integrar este enfoque al ámbito actual de la caracterización energética de los sectores industriales colombianos.

### **6.1 Análisis de brechas en los estudios nacionales**

La revisión del contexto nacional deja ver que se han atendido algunos aspectos referentes al desempeño energético de los sectores colombianos, pero se observan

ausencias principalmente en el análisis de capacidades internas de las organizaciones para atender a requerimientos del desempeño energético.

En la Tabla 6 se contrastan los elementos involucrados en el desempeño energético organizacional (Figura 3, página 49) con los estudios energéticos de industria realizados en Colombia y con la información disponible en otras fuentes.

Se observa que los estudios de la UPME para determinación de potenciales de ahorro del sector industrial y el balance de energía útil se centran en aspectos de consumo, proceso productivo y variables tecnológicas. De esta manera aportan información base para entender el desempeño energético de las industrias. No obstante, otras variables que en la práctica influyen en el desempeño energético final, no se han involucrado en los estudios.

Dicha información hace parte de prácticas específicas de cada industria en el campo productivo y organizacional y tiene mayores dificultades de recolección, en especial se observan ausencias de información frente a variables organizacionales, el comportamiento de los usuarios finales y los procesos de soporte.

Las fuentes de información complementarias (EDIT, EAM) tienen algunas variables que podrían relacionarse con la eficiencia energética. Sin embargo, estas variables no fueron recolectadas con el objetivo de contrastar aspectos energéticos de la empresa, por lo tanto, no son adecuadas para el uso en estudios de este ámbito. Este aspecto se tratará más adelante en este capítulo.

**Tabla 6.** Análisis de brecha frente a los factores de caracterización e impacto del desempeño energético

	<b>Aspecto</b>	<b>Estudio</b>
<b>Aspectos que caracterizan el desempeño</b>	Proceso productivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CIUU 19-31 (UPME-Corpoema)</li> </ul>
	Diseño del proceso productivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CIUU 19-31 (UPME-Corpoema)</li> </ul>
	Tipo de tecnología	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CIUU 19-31 (UPME-Incombustión, Corpoema)</li> </ul>
	Energía útil requerida para el proceso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balance de Energía útil</li> </ul>
	Eficiencia nominal y estacional de los equipos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CIUU 10-18 (UPME-Incombustión), eficiencia nominal.</li> </ul>
	Ubicación geográfica de la planta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encuesta anual manufacturera</li> </ul>
	Entorno competitivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudios de competitividad industrial Programa de Transformación productiva</li> <li>• Indicadores del Consejo privado de competitividad</li> <li>• Índice Departamental de Competitividad</li> </ul>
	Aspectos normativos y regulatorios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Información del Ministerio de Minas y Energía y del Ministerio de Medio Ambiente</li> </ul>
<b>Aspectos que impactan el desempeño</b>	Prácticas operacionales	Información no incluida actualmente
	Prácticas de mantenimiento	Información no incluida actualmente
	Antigüedad de los equipos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CIUU 10-18 (UPME-Incombustión)</li> </ul>
	Sistemas de Adquisición y procesamiento de información	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encuesta Actual Manufacturera (EAM)</li> </ul>
	Gestión del conocimiento	Información no incluida actualmente
	Modelo Gerencial y Liderazgo de la Gerencia	Información no incluida actualmente
	Actividades Innovadoras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encuesta de desarrollo Tecnológico e Innovación (EDIT)</li> </ul>
	Cultura organizacional	Información no incluida actualmente
	Capacidades de aprendizaje	Información no incluida actualmente
	Demanda de productos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encuesta Actual Manufacturera (EAM)</li> </ul>
	Tarifas y precios de los energéticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumos de Electricidad XM</li> <li>• Consumos de otros combustibles: Ministerio de minas</li> </ul>

Elaboración propia

## **6.2 Determinación de factores que se cubrirán a través del modelo**

Según el análisis de brecha realizado, se propone el planteamiento de un modelo que cubra los aspectos relacionados con el modelo organizacional, el personal relacionado con el uso final de la energía y los procesos de soporte, dado que son los aspectos que se han incorporado en menor medida en las herramientas utilizadas para la caracterización energética de sectores industriales colombianos. Se espera que la información levantada resulte complementaria a la ya existente, brindando nuevas dimensiones para el análisis del desempeño energético en estudios sectoriales.

La revisión de la literatura muestra que el impacto de estas variables sobre el desempeño energético puede ser significativo. Las variables cobran relevancia al tener en cuenta que los aspectos organizacionales tienen un impacto en la motivación de las organizaciones para implementar acciones de eficiencia energética y en el resultado de desempeño técnico de las acciones (Rizzi et al., 2018). De igual manera, tienen importancia prioritaria para el aprovechamiento del potencial asociado a la brecha de eficiencia energética de las industrias (Backlund, Thollander, Palm, & Ottosson, 2012; Paramonova et al., 2015).

### **Enfoque metodológico de desempeño desde la Visión Basada en Recursos**

La visión de la empresa basada en recursos (RBV por sus siglas en inglés *Resource Based View*) estudia las características que deben tener los recursos de una empresa para lograr una ventaja competitiva. Dadas sus coincidencias con el ámbito de aplicación estudiado, se utilizarán algunos lineamientos de este enfoque para el planteamiento del modelo.

Los postulados de la RBV se formulan como un contraste a las teorías de estrategia predominantes, basadas en el posicionamiento sobre el entorno, las cuales asumen que las empresas dentro de un grupo (por ejemplo, un sector industrial) poseen capacidades homogéneas y facilidad de mover recursos para responder a cambios en el entorno. En contraste, si se parte del hecho de que las empresas tienen recursos heterogéneos y poca flexibilidad para reemplazarlos, las empresas con ciertos tipos de recursos podrán tener ventajas sobre otras. Para ser fuente de ventaja competitiva los recursos deben ser

valiosos, escasos, no imitables y no sustituibles (Priem & Butler, 2001). Bajo esta perspectiva, la variación del desempeño de una organización puede ser explicada desde la heterogeneidad de los recursos (Carmeli & Tishler, 2004).

Desde esta corriente, un recurso puede definirse bajo el enfoque básico del trabajo seminal de J. Barney como ‘todos los activos, procesos organizacionales, atributos de una empresa, información, conocimiento u otros, controlados por una empresa que le permiten concebir e implementar estrategias para mejorar su eficiencia y efectividad’ (Barney, 1991). En los estudios donde se han abordado los conceptos básicos de la visión basada en recursos, se han usado tres constructos principales: recursos, capacidades y competencias organizacionales (Carmeli & Tishler, 2004).

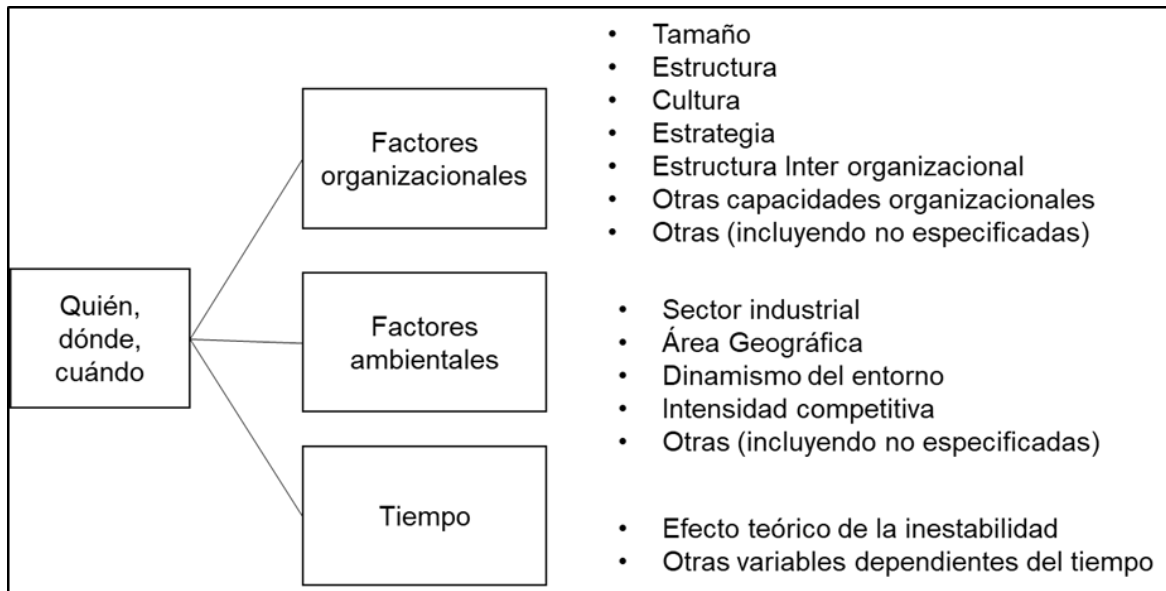
Los conceptos de capacidades y competencias se han usado muchas veces de forma intercambiable (Enginglu & Arikan, 2016). Pueden entenderse como agrupaciones de recursos básicos tangibles e intangibles (habilidades, conjuntos de acciones, tecnologías o procesos) que interactúan en forma sinérgica y ayudan a una organización a tener un buen desempeño en función de metas o factores críticos de éxito (Barrutia & Echebarria, 2015). Alineado con esta visión, pueden definirse como la capacidad de una empresa para desplegar recursos usualmente combinados, utilizando los procesos organizacionales para llegar a un fin esperado (Barreto, 2010).

Una fuerte línea de trabajo se ha desarrollado a partir de la introducción del concepto de capacidades dinámicas, establecidas como aquellas que permiten a las empresas responder a cambios rápidos en el entorno. Desde este punto de vista las capacidades de la empresa se dividirían entre operacionales u ordinarias (dirigidas a mantener y potenciar las operaciones actuales de la empresa) y dinámicas (que se orientan al desarrollo estratégico). La definición de Helfat et al. (2007) recoge estos aspectos indicando que una capacidad dinámica corresponde a “la capacidad de una organización de crear, extender o modificar su base de recursos deliberadamente” (Schilke, Hu, & Helfat, 2018). En la Figura 6 se resumen los aspectos que han sido identificados como capacidades dinámicas en estudios empíricos de la literatura.

La visión de la empresa basada en recursos resulta de interés para el estudio del desempeño energético dado que puede permitir estudiar su papel en la creación de

ventajas competitivas para la industria. Para los fines del presente trabajo, se tomaron tres de los factores organizacionales estudiados dentro de la literatura de capacidades dinámicas organizacionales para involucrarlos en el modelo: estructura, cultura y estrategia. La alineación con este enfoque se realiza con la finalidad de que los planteamientos se adapten a la terminología y técnicas aplicables al ámbito de la competitividad.

**Figura 6.** Ámbito de aplicación de estudios empíricos sobre capacidades dinámicas, con base en la codificación del estado del arte de Schilke et al. (2018)



Tomado de Schilke et. al (2018)

### Identificación de categorías para conceptualizar los aspectos organizacionales con impacto en el desempeño energético

Teniendo en cuenta la revisión de la literatura y al análisis de brecha desarrollado, se planteó un modelo para incluir variables organizacionales en el desempeño energético de las industrias, partiendo de los principales factores de impulso (*drivers*) y barreras reportados en estudios del área. Las categorías seleccionadas para dar cuenta de las capacidades organizacionales de la empresa se muestran en la Tabla 7.

Como marco de referencia para la construcción del planteamiento teórico se tuvo en cuenta la categorización realizada por Solnørdal y Foss (Solnørdal & Foss, 2018). Bajo

este planteamiento se incluyeron las categorías de estructura organizacional, la gestión o gerencia (*management*), la cultura y las competencias del personal.

Las dos categorías iniciales coinciden con los aspectos que se han validado empíricamente como capacidades dinámicas de una empresa (Schilke et al., 2018) mientras que la tercera se asocia al personal de la organización. Esta última categoría se consideró de alta importancia debido al notable crecimiento en el estudio de aspectos como las implicaciones de los gestores energéticos o personal enfocado en funciones de energía (Avalone, 2018; Johansson & Thollander, 2018; Rizzi et al., 2018) y a aspectos relacionados con personal calificado.

Como subcategoría adicional se incluyeron las capacidades de soporte, donde se agrupan otros aspectos cuya ausencia o deficiencia se reconoce en la literatura como barreras para la eficiencia y desempeño energético, por ejemplo, recursos disponibles o información de usos y flujos de energía al interior de la empresa (Henriques & Catarino, 2016).

**Tabla 7.** Subcategorías seleccionadas para la caracterización de factores organizacionales en el modelo

Aspecto a validar	Categoría
Factores organizacionales que impactan en el desempeño energético de la empresa	Estructura organizacional
	Cultura
	Estrategia
	Competencias del personal relacionado con el desempeño energético
	Capacidades de soporte

Bajo estos aspectos se construyó la siguiente hipótesis para relacionar los factores organizacionales de una empresa con su desempeño energético:

H0: El desempeño energético de las industrias está influenciado por capacidades y competencias organizacionales que les permiten diferenciar su desempeño energético de otras entidades del sector.

## Diagnóstico de disponibilidad de información secundaria

Teniendo en cuenta la información secundaria identificada como insumo posible para el desarrollo del modelo, se realizó un análisis inicial de posibles variables que podrían usarse desde la Encuesta Anual Manufacturera – EAM y la Encuesta de Desarrollo Tecnológico e Innovación para la Industria – EDIT.

Se encontró que la EAM tiene datos que pueden usarse para elaborar variables dependientes o de control, tal como variables de identificación y ubicación por establecimiento (Id, Sector CIUU, Departamento) variables energéticas (consumos de energía eléctrica de 18 energéticos por empresa en unidades de energía y monetarias) e información de valor agregado por empresa. Con esta información puede obtenerse una expresión de intensidad energética por empresa y por sector que se alinea con las recomendaciones estadísticas para manejo de información energética de la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2014).

Por otra parte, la EDIT presenta variables de interés para involucrar como predictoras en el modelo, principalmente asociadas a factores de soporte (Tabla 8). No obstante, estas variables han sido levantadas con fines distintos a la identificación de efectos sobre el desempeño energético de las industrias, lo que resta validez a la afirmación de causalidad. Esta conclusión coincide con un trabajo anterior desarrollado con participación del autor, en el que se buscó identificar el impacto de la actividad innovadora sobre la intensidad eléctrica de industrias colombianas, y se señala la misma limitación sobre los resultados finales (Moreno, Muñoz, & Rojas, 2017).

**Tabla 8.** Variables de interés para el modelo encontradas en la encuesta EDIT

Categoría	Variables encuesta EDIT
Estructura organizacional	¿Fue importante el departamento interno de I+D+i como fuente de conocimiento para innovar?
	¿Fue importante el departamento interno de producción como fuente de conocimiento para innovar?
Cultura	¿Fueron importantes los grupos interdisciplinarios internos como fuente de conocimiento para innovar?
	¿Fueron importantes las instituciones públicas como fuente de conocimiento para innovar?
Estrategia	¿Fueron importantes los directivos de la empresa como fuente de conocimiento para innovar?



Competencias del personal relacionado con el desempeño energético	Grado de importancia de la falta de personal calificado como obstáculo para innovar
	Inversión en formación y capacitación
Capacidades de soporte	Introducción de métodos de producción o logística nuevos o significativamente mejorados
	Implementación de nuevos métodos organizativos
	Grado de importancia de la escasez de recursos propios como obstáculo para innovar
	Grado de importancia de la falta de información sobre tecnología disponible como obstáculo para innovar
	Grado de importancia de la introducción de innovaciones sobre el aumento de productividad
	Grado de importancia de la introducción de innovaciones sobre la reducción de consumos de energía
	Grado de importancia de la incertidumbre frente al éxito en la ejecución técnica de proyectos como obstáculos para innovar
	Inversión en actividades de I+D Internas
	Inversión en adquisición de maquinaria
	Inversión en Tecnologías de Información y Telecomunicaciones
	En el periodo evaluado, ¿La empresa obtuvo certificaciones de sistemas de gestión? ¿Cuántas?
	Grado de importancia de los sistemas de gestión sobre productividad
	Grado de importancia de los sistemas de gestión sobre mayor actualización tecnológica

Elaboración propia

Por las razones expuestas, se decidió no utilizar la información de estas fuentes de información en la alimentación del modelo. Las variables podrían incluirse si se reorientan para identificar aspectos específicos del desempeño energético de los sectores industriales. Este aspecto se recoge en las recomendaciones del capítulo 8. Recomendaciones para aplicación en el ámbito sectorial.

### **Obtención de información de empresas del programa de consolidación de la Red RECIEE**

Como alternativa al uso de la información de las EDIT y la EAM, el modelo se aplicó con información recogida en empresas beneficiarias del programa para la consolidación de la Red Colombiana de Conocimiento en Eficiencia Energética, RECIEE.

El programa trabajó un total de 50 empresas en la etapa de decisión estratégica, de las cuales 44 correspondían al sector industrial. De estas empresas, se descartaron aquellas que tenían información incompleta llegando a una muestra final de 41 empresas. La información se recogió a través de la revisión de informes de Decisión Estratégica de cada empresa, realizados por gestores energéticos bajo una metodología unificada.

Como variable dependiente, se utilizó el potencial de ahorro por cada empresa con relación a sus consumos energéticos totales (incluyendo energía eléctrica y térmica). El enfoque general utilizado por los gestores para obtener este potencial se basó en la metodología del SGIE (González et al., 2012). Bajo este enfoque, se obtiene una línea de base energética para una empresa a través de una regresión lineal entre los datos históricos de energía y producción, y una línea meta como una regresión lineal de los puntos con mejor comportamiento. El potencial de ahorro se obtiene como la diferencia entre los interceptos con el eje Y en la ecuación de ambas líneas y se asocia principalmente a mejoras por gestión.

Las variables explicativas incluyeron información de identificación de la empresa, y variables categóricas de tipo nominal (SI/NO) y ordinal (calificación de 1 a 5).

Dentro de la información recolectada se tuvo en cuenta la calificación de las empresas en ocho dimensiones organizacionales (de 1 a 5), recogidas a través de una matriz de calificación diseñada para este fin y registrada por los gestores de cada empresa a través de un formulario en Excel. La matriz de diligenciamiento y las pantallas del formulario (instrucciones y resultados) se presentan en la sección de anexos. Esta metodología representa un ejemplo de matriz de gestión de la energía según la clasificación establecida por Trianni et al (2019).

En algunos informes los gestores no habían realizado la calificación directamente, pero aportaron información equivalente, la cual se usó para ubicar a la empresa en una de las categorías establecidas para cada dimensión evaluada.

El autor del presente trabajo participó en la estructuración de la plantilla del informe como parte de las actividades desarrolladas con el grupo de investigación GRISEC. De igual manera, diseñó el aplicativo para diagnóstico de capacidades organizacionales que fue retroalimentado con el director y gestores del programa previo a su aplicación en las industrias.

La Tabla 9 muestra las variables que se levantaron de cada una de las categorías establecidas. Como referencias en la identificación de variables empíricas del ámbito organizacional y de gestión a involucrar, se tuvo en cuenta la revisión de estudios sobre factores que impulsan la eficiencia energética (Solnørdal & Foss, 2018) y barreras a la eficiencia energética (Henriques & Catarino, 2016),

**Tabla 9.** Variables organizacionales de los informes de empresas beneficiarias analizadas

<b>Categoría</b>	<b>Preguntas</b>	<b>Posibles respuestas</b>	<b>Código</b>
Factores de identificación	Nombre	Texto	i1
	Fecha del informe	dd/mm/aaaa	i2
	CIUU a 3 dígitos	Número	i3
	Consumo mensual promedio	kWh equivalentes	i4
	Participación eléctrica en la matriz (en términos de unidades energéticas equivalentes)	%	i5
	Departamento	Texto	i6
	Potencial de ahorro respecto al consumo mensual promedio	%	i7
Estructura organizacional	Calificación de comunicación en el calificador SGIE	1,2,3,4,5 (1=más bajo, 5=más alto)	EO1
	¿Existe un cargo con funciones específicas de gestión de la energía?	1 = SI 0 = NO	EO2
	¿El gestor registró una división encargada del seguimiento energético?	1 = SI 0 = NO	EO3
Cultura	Calificación de Información energético productiva	1,2,3,4,5 (1=más bajo, 5=más alto)	CU1
	¿La empresa había desarrollado estudios sobre eficiencia energética (auditorías energéticas, asesorías de expertos etc.) previo a las actividades con RECIEE?	1 = SI 0 = NO	CU2
	¿La empresa había desarrollado acciones de mejora al desempeño energético previo a las actividades con RECIEE?	1 = SI 0 = NO	CU3
	¿Los gestores no registraron dificultades en el acceso a información?	1 = SI 0 = NO	CU4
	¿Los gestores no realizaron recomendaciones en función de mejorar los registros de la información productiva?	1 = SI 0 = NO	CU5
	¿Los gestores no evidencian necesidad de actualización de tecnología con alto impacto en el consumo de energía?	1 = SI 0 = NO	CU6
Estrategia	¿Calificación de energía en la planeación	1,2,3,4,5 (1=más	ES1

	estratégica de la organización en el calificador SGIE	bajo, 5=más alto)	
	Indicadores y Metas Energéticas (Calificador RECIEE)	1,2,3,4,5 (1=más bajo, 5=más alto)	ES2
	¿La empresa participó en la etapa de implementación?	1 = SI 0 = NO	ES3
Competencias del personal relacionado con el desempeño energético	Calificación de personal encargado de la gestión de la energía (Calificador RECIEE)	1,2,3,4,5 (1=más bajo, 5=más alto)	CO1
	Calificación de capacitación en el calificador SGIE	1,2,3,4,5 (1=más bajo, 5=más alto)	CO2
	¿La empresa ha fomentado la formación de personal en competencias específicas de gestión o eficiencia energética (diplomado de eficiencia energética avanzada, especialización o maestría en eficiencia o gestión energética etc.)?	1 = SI 0 = NO	CO3
Capacidades de soporte	Calificación de Identificación y medición de usos y consumos energéticos por áreas (Calificador RECIEE)	1,2,3,4,5 (1=más bajo, 5=más alto)	CS1
	Calificación de sistemas de gestión implementados	1,2,3,4,5 (1=más bajo, 5=más alto)	CS2
	¿Los gestores registraron el porcentaje que representan los costos de energía sobre los costos productivos totales?	1 = SI 0 = NO	CS3
	¿La empresa tiene uno o más submedidores internos de energéticos primarios?	2 = SI 0 = NO	CS4

Elaboración propia

## **7. Análisis de resultados**

### **7.1 Alimentación del modelo**

Para la aplicación del modelo, se estableció una variable para cada categoría incluida en la Tabla 9, calculada como la sumatoria de los valores obtenidos por cada una de las variables que la componían. De este modo se obtuvieron 5 variables correspondientes a las categorías. Estructura Organizacional, Cultura, Estrategia, Competencias de Personal y Capacidades de Soporte.

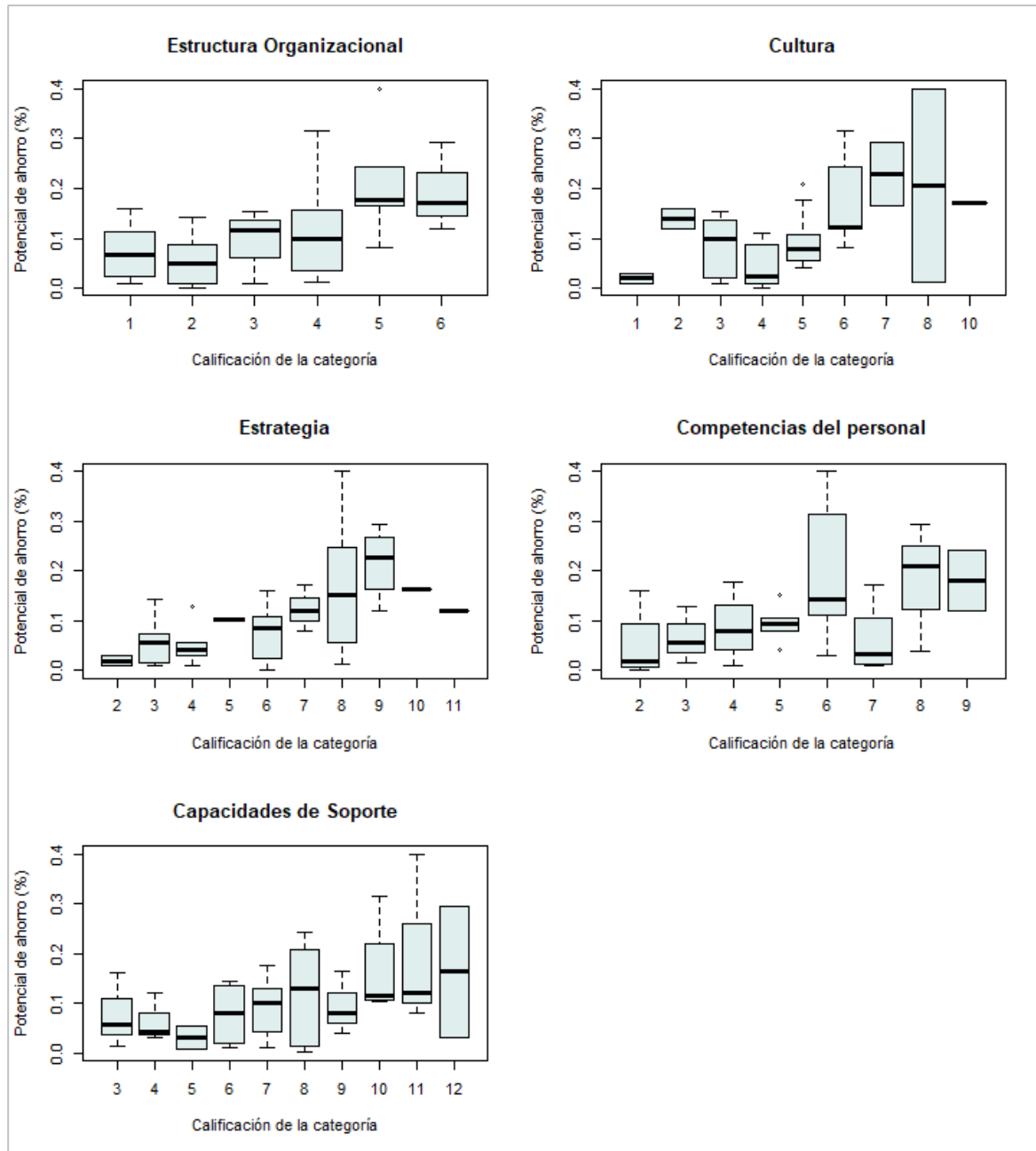
Como constructo del desempeño energético se utilizó el porcentaje de ahorro calculado para cada empresa. Esta variable se expresa en porcentaje y se calcula como una relación entre el valor del potencial mensual de ahorro estimado y el valor del consumo promedio mensual de la empresa. Para determinar la relación de esta variable con cada una de las dimensiones estudiadas se empleó un método de análisis de la varianza.

### **7.2 Descripción de resultados**

#### **Análisis de potencial de ahorro en función de las categorías organizacionales**

En la Figura 7 se muestran los diagramas de cajas y bigotes para comparar los ahorros obtenidos en función de los valores para cada categoría. La relación entre las variables construidas para cada una de las categorías y el potencial de ahorro estimado se validó a través de un análisis de varianza con un intervalo de confianza del 95% obteniendo los valores que se muestran en la Tabla 10.

**Figura 7.** Diagramas de caja para comparación entre el potencial de ahorro y cada una de las variables categóricas establecidas



Elaboración propia

**Tabla 10.** Estadísticos para el análisis de varianza de Potencial de Ahorros en función de las variables categóricas definidas

<b>Categoría</b>	<b>Estadístico F</b>	<b>P(&gt;F)</b>
Estructura Organizacional	<b>3,545</b>	<b>0.0119</b>
Cultura	<b>2,346</b>	<b>0,0454</b>
Estrategia	2,022	0,0761
Competencias	1,971	0,0941
Capacidades de Soporte	0,877	0,577

Elaboración propia

El análisis muestra que en los casos de las categorías 'Estructura Organizacional' y 'Cultura' puede rechazarse la hipótesis de independencia de las variables, identificando la existencia de relación con los ahorros potenciales. Adicionalmente en los diagramas de caja se observa que en general, el potencial de ahorro estimado tiende a ser mayor para las empresas con mejor calificación en cada categoría.

La categoría de Estructura Organizacional se construyó a partir de la calificación de la empresa respecto a la comunicación de aspectos energéticos, la existencia de un cargo con funciones específicas en gestión de la energía y la existencia de una división encargada del seguimiento energético.

La categoría Cultura, tuvo en cuenta la calificación de la empresa respecto al manejo de su información energético productiva, el desarrollo de acciones y estudios en eficiencia energética antes de las actividades con la red RECIEE, las dificultades en el acceso a información y las sugerencias sobre el registro de información productiva.

En los próximos apartados se revisan algunos elementos de interés encontrados en estos resultados.

### **Las capacidades organizacionales posibilitan la identificación de ahorros de gestión**

En la interpretación empírica inicial del modelo, se esperaba que las empresas con mejores capacidades organizacionales mostraran menores potenciales de ahorro, debido a que su dinámica debería haberlas llevado a desarrollar prácticas en gestión de la energía que les habrían permitido aprovechar potenciales de ahorro de manera previa al trabajo con el programa. No obstante, se observa que precisamente las empresas con menor calificación en cada categoría son las que presentan menores ahorros.

Este resultado en principio contra empírico podría explicarse al tener en cuenta el contexto de las empresas evaluadas y el ámbito de la gestión de la energía. Como se explicó, el ahorro estimado se basó en la metodología del PEN-SGIE, el cual principalmente atiende a resultados asociados a acciones de gestión de la energía (tales como mejores prácticas operativas o reorganización en los procesos productivos) y no asociadas a cambios tecnológicos. El planteamiento del PEN-SGIE se alinea con la línea de la literatura que señala que las empresas cuentan con un amplio espacio de mejora en eficiencia energética asociado a prácticas de gestión (Backlund et al., 2012; Paramonova et al., 2015).

Dentro de las razones que explican que este potencial se encuentre oculto se asocian aspectos como el desconocimiento de los flujos de la energía al interior de la empresa, falta de capacidades para evaluar los beneficios energéticos de las acciones de gestión, altos riesgos percibidos respecto a las mejoras en eficiencia energética y la tendencia a privilegiar las prácticas tecnológicas sobre las prácticas de gestión al abordar acciones de mejora en energía. (Backlund et al., 2012; Martin, Muûls, De Preux, & Wagner, 2012; Paramonova et al., 2015).

Las empresas que se acercaron al programa lo hicieron precisamente porque querían iniciar acciones en gestión de la energía. Las empresas podrían haber tenido acciones previas en el área de eficiencia energética o no (la información de acciones previas se reportó en 8 de las 41 empresas evaluadas), pero el acercamiento al programa les



permitía contar con un nuevo enfoque de trabajo, centrado en identificar y alcanzar acciones por gestión, en contraste con el enfoque tradicional centrado en tecnología.

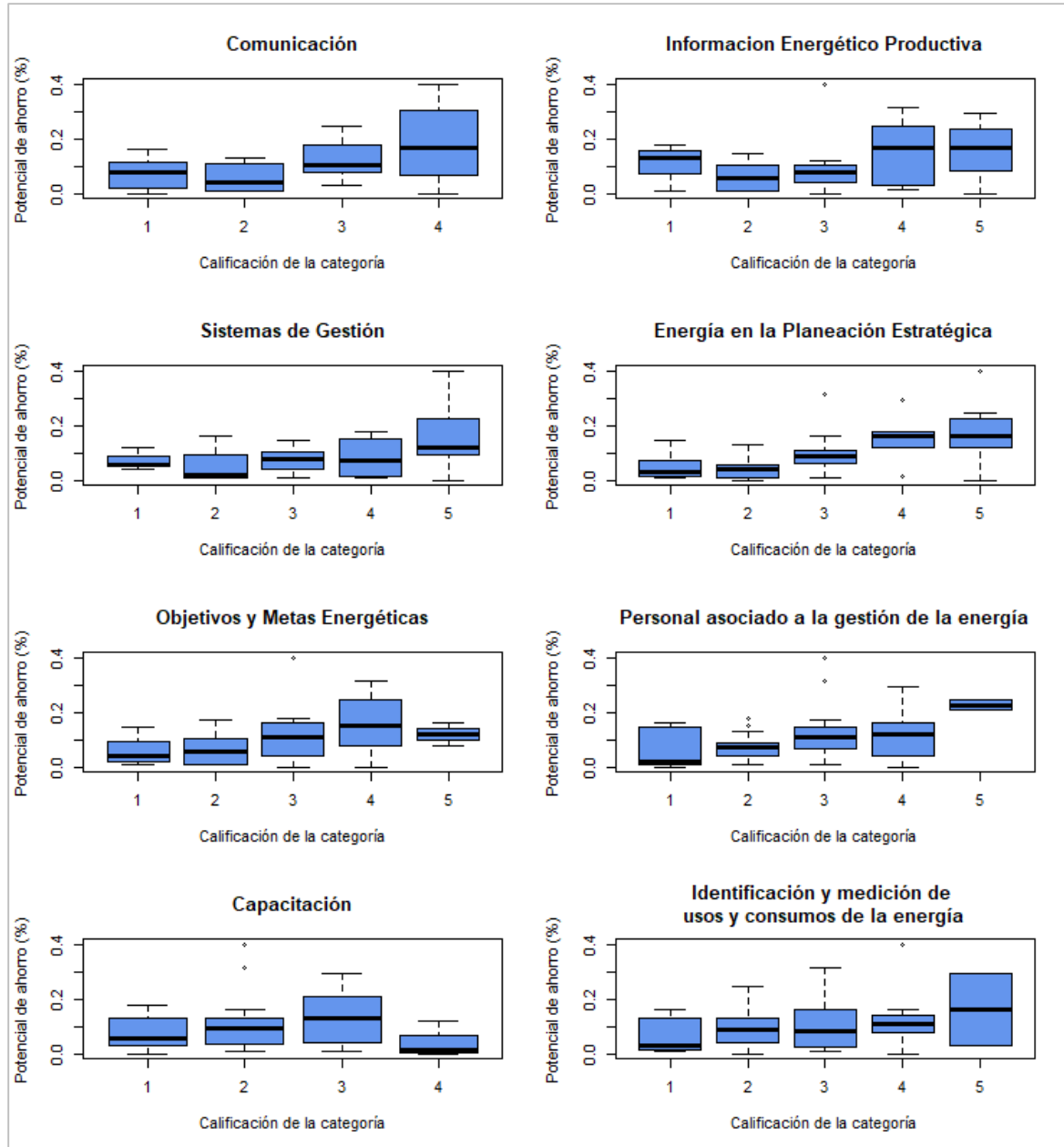
En línea con lo anterior, el resultado puede deberse a que en las empresas con mejores capacidades organizacionales, los gestores contaron con mejores herramientas para la realización de análisis energéticos y productivos, identificando mejores ahorros por gestión. Incluso es posible que las empresas que hubieran realizado mejoras antes a la entrada del programa aun tuvieran potenciales no identificados, asociados a mejoras en gestión que no hubieran sido contempladas previamente.

Para contrastar estos resultados, se realizó el análisis de varianza para la relación entre el potencial de ahorro y las categorías de cada una de las dimensiones incluidas en el calificador RECIEE. Los resultados se muestran en la Figura 8.

Se observa que las categorías 'la energía dentro de la planeación estratégica' y 'comunicación' presentan una relación significativa con el potencial de ahorro energético. Aun cuando estas dos dimensiones no se relacionan directamente con los postulados planteados en los anteriores, párrafos, sus resultados se consideran de interés y se abordarán en la siguiente sección, en el análisis del papel de los gestores y la planeación a largo plazo dentro de la mejora del desempeño energético.

Las categorías 'información energético-productiva' e 'Identificación y medición de usos y consumos de la energía' no presentan una relación estadísticamente significativa con el ahorro de energía, sin embargo, se observa que las medias de potenciales de ahorro más altas se ubican en las empresas con calificaciones más altas en estas dimensiones. Estas dos categorías se consideran de importancia para sustentar los argumentos planteados y, aun cuando la información estadística no es suficiente para asegurarlo, se observa una tendencia a que las empresas con mejores tendencias también sean fuertes en las capacidades de seguimiento a su desempeño energético.

**Figura 8.** Estadísticos para el análisis de varianza de Potencial de Ahorro en función de las categorías organizacionales definidas



Elaboración propia

**Tabla 11.** Estadísticos para el análisis de varianza de Potencial de Ahorro en función de las categorías organizacionales definidas

<b>Categoría</b>	<b>Estadístico F</b>	<b>P(&gt;F)</b>
<b>Comunicación</b>	<b>4,168</b>	<b>0,0129</b>
Información energético-productiva	1,506	0,223
Sistemas de Gestión Implementados	1,942	0,127
<b>La energía dentro de la planeación energética</b>	<b>3,443</b>	<b>0,0186</b>
Indicadores, objetivos y Metas Energéticas	1,906	0,133
Personal encargado de la gestión de la energía	2,119	0,101
Capacitación	0,953	0,426
Identificación y medición de usos y consumos	0,571	0,686

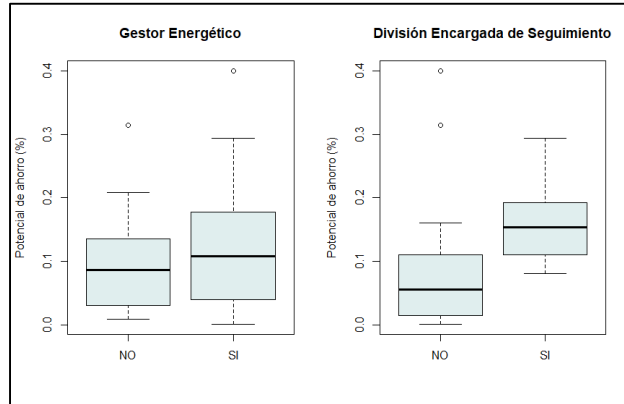
Elaboración propia

**El rol de los gestores energéticos y la energía en la planeación a largo plazo**

Una variable de interés ampliamente resaltada en la literatura, es la existencia de gestores energéticos como posibilitadores de la mejora del desempeño en la industria. En el modelo, esta variable hace parte de la dimensión estructura organizacional, en donde se encontró una relación significativa con los ahorros potenciales estimados.

La existencia de gestores energéticos se reportó en un total de 15 empresas y la existencia de una división encargada del seguimiento en 14. En 6 de estas empresas se identificó la existencia de ambas. La relación de las empresas con los ahorros potenciales estimados se muestra en la Figura 9. Se observa que la media de potencial de ahorro fue menor para las empresas que no registraban alguna de las dos características.

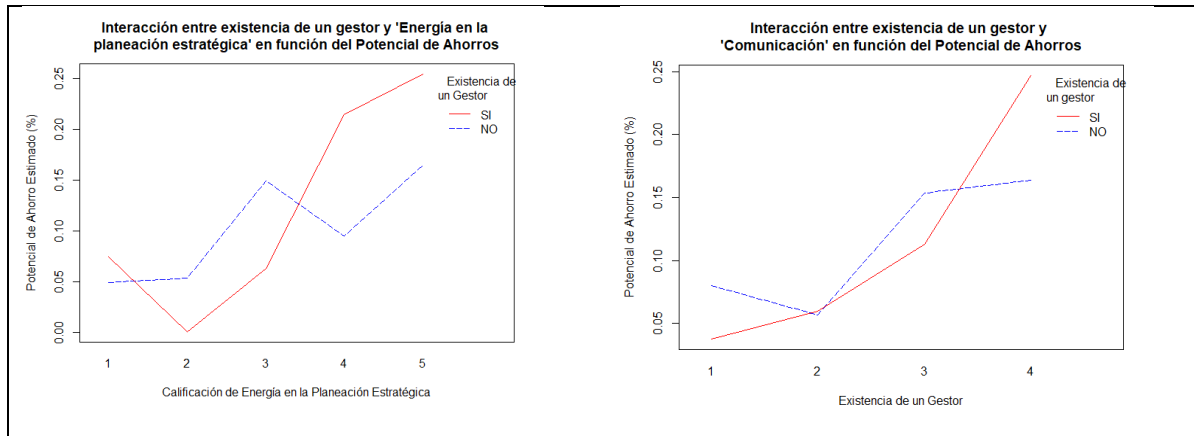
**Figura 9. Potencial de ahorro contra empresas que reportaron existencia de un gestor energético o de una división encargada de seguimiento al desempeño energético**



Elaboración propia

Para interpretar estos resultados, se tuvo en cuenta la relación entre el potencial de ahorro, la comunicación y la energía en la planeación estratégica de la organización evidenciada en la Tabla 11. En diálogo con las literaturas, este resultado se contrasta con el estudio Johansson y Thollander (2018), donde se menciona que el rol del gestor energético hace parte de los aspectos que generan sinergias con las características del personal operativo y las estrategias de largo plazo con las empresas en el desarrollo de acciones exitosas de mejora del desempeño energético.

**Figura 10. Interacción entre la existencia de un gestor energético en las categorías de interés en función del potencial de ahorros obtenidos**



Elaboración propia

En la Figura 10, se muestra la interacción entre las variables de ‘existencia de un gestor energético en la empresa’ y las categorías mencionadas en función del ahorro de los datos. Se observa que los valores más altos de potencial se obtienen para las empresas que comparten tanto una alta calificación en las categorías estudiadas como un rol de gestor de la energía formalmente asignado. Esta relación se intentó verificar a través de un análisis de varianza con interacción, pero a la luz de los datos presentados no se encontró evidencia para probar la relación. No obstante se considera que puede ser un aspecto para analizar en estudios a futuro.

### **7.3 Elaboración de perfiles sectoriales a partir de las categorías significativas para el desempeño energético**

Con el fin de contar con una herramienta para la diferenciación de características asociadas a diferentes sectores industriales, se propone la creación de perfiles de desempeño energético por sector, teniendo en cuenta las categorías que mostraron una relación significativa con los potenciales de ahorro.

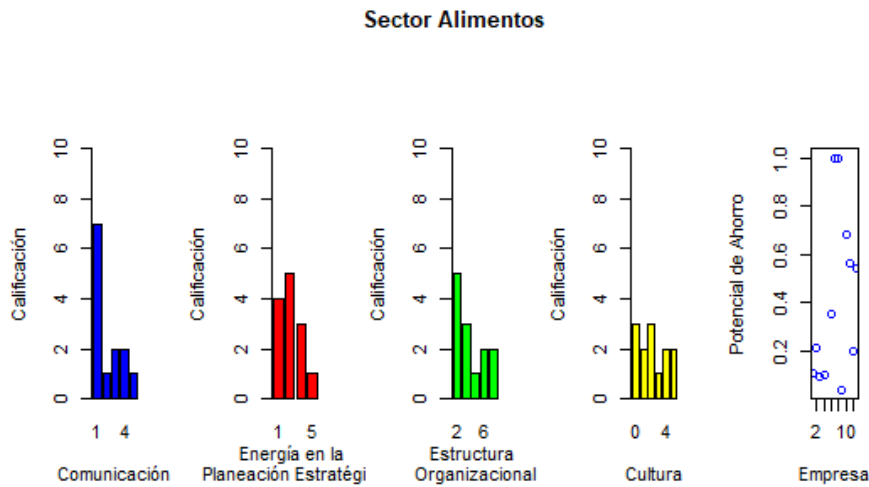
La visualización propuesta consiste en un resumen de la distribución de las puntuaciones obtenidas en las categorías relevantes, indicando en el mismo gráfico la dispersión asociada a los porcentajes de ahorro.

Como ejemplo, en la Figura 11 y la Figura 12, se muestra un perfil para los sectores alimentos (CIUU 10) y plásticos (CIUU 22), los cuales corresponden a los sectores con mayor número de empresas incluidas en el programa RECIEE. La visualización incluye las categorías que mostraron calificación significativa. El eje vertical se muestra en la misma escala para todos los gráficos con el fin de facilitar la comparación entre sectores. Dado el bajo número de empresas que pertenecen a cada sector (13 para alimentos y 7 para plásticos), los ahorros potenciales se muestran en un diagrama de dispersión. En el caso de que se cuente con más datos, una visualización más apropiada sería un diagrama de cajas y bigotes.

La visualización propuesta es un ejemplo de la manera en que podrían mostrarse los perfiles por sector industrial. La variable representativa del desempeño energético podría cambiar en función de que se cuente con otra información disponible (por ejemplo,

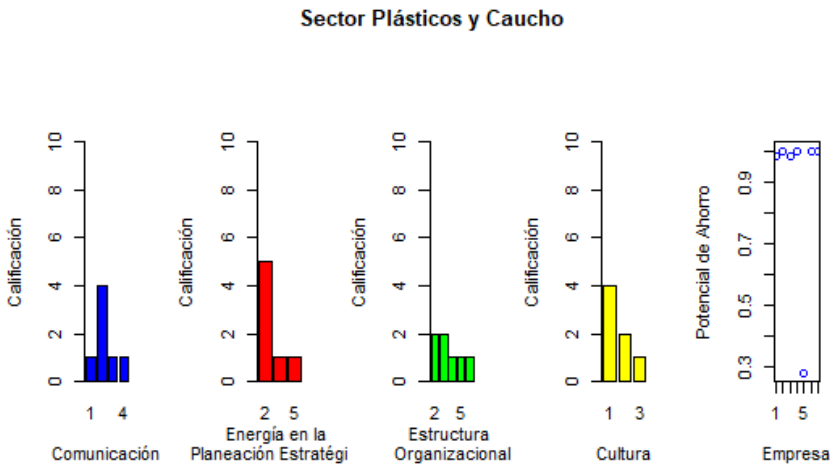
variación en la intensidad energética, ahorros alcanzados en un periodo de tiempo frente a una línea base). El objetivo con esta presentación de los datos es permitir comparar perfiles de distintos sectores, para orientar las decisiones de empresas, entidades sectoriales u otros actores de interés hacia la investigación de los variables con mayor impacto en el desempeño energético de las empresas del sector

**Figura 11. Visualización de las categorías relevantes en función del potencial de ahorro para empresas del sector alimentos**



Elaboración propia

**Figura 12. Visualización de las categorías relevantes en función del potencial de ahorro para empresas del sector plástico y caucho**



Elaboración propia

## 7.4 Limitaciones en la información

La información utilizada en el modelo responde a un muestreo por conveniencia, correspondiente a empresas participantes del programa de consolidación de la Red RECIEE. La muestra tiene características favorables para su uso dado que agrupa empresas con interés en mejorar su dimensión energética y registra información que fue levantada con la finalidad de responder a aspectos relacionados con el desempeño energético.

La información reportada en los informes fue organizada por personal con formación específica en gestión de la energía y retroalimentada por profesionales y docentes con experiencia en el área. De esta manera, contó con filtros de expertos antes de ser consignada en las versiones definitivas de los informes. Adicionalmente, las actividades en campo de los gestores correspondieron a una metodología unificada consignada en documentación de la Red RECIEE.

Pese a lo anterior, la muestra cuenta con limitaciones que es necesario tener en cuenta para una correcta interpretación de los resultados. En primer lugar, la forma de obtener y registrar la información varió de región en región, dado que en el proceso trabajaron tres grupos autónomos conformados por gestores y docentes de universidades de la red RECIEE en diferentes ciudades del país. De otra parte, el tamaño final de la muestra resultó pequeño, lo que aumenta la posibilidad de afectación de datos atípicos en los resultados finales observables. En este mismo sentido, el análisis resultaba sensible a la ausencia de información en algunas de las variables evaluadas, lo que puede conducir a sesgos.

Dentro de las recomendaciones que se consignan en el siguiente capítulo, estas fortalezas y limitaciones se tuvieron en cuenta para proponer un esquema de aplicación que permita disminuir la incertidumbre en los resultados finales.





## **8.Recomendaciones para aplicación en el ámbito sectorial**

En la presente sección se presentan lineamientos y recomendaciones para la extensión de los conceptos presentados hacia el ámbito sectorial, con el fin de contar con una aproximación integral para la caracterización del desempeño energético. El análisis tiene en cuenta tanto la revisión del estado del arte y del contexto nacional, como los conceptos validados a través del modelo. De esta manera se presentan recomendaciones asociadas a mejoras en la información existente y al desarrollo de nuevos elementos de información.

### **Información para la elaboración de indicadores energéticos**

El análisis de la información energética de sectores industriales muestra que el sector gubernamental, representado en la UPME, ha hecho importantes esfuerzos para unificar y estandarizar la información energética del sector industrial.

La versión actual de la Encuesta Anual Manufacturera representa una base sólida de consumos desagregados por fuente de energía. Las deficiencias se asocian principalmente a que la información es aportada por los usuarios finales (lo que puede generar sesgos o ausencias de información). No obstante, tiene un bajo costo de adquisición, un amplio nivel de cubrimiento y un nivel de codificación adecuado para su agregación. Además en el mismo formulario de recolección de datos se obtiene información de valor agregado y de cantidades de producción, lo que permite realizar indicadores energéticos con mejores características para evitar los principales problemas asociados a la agregación de información energética (Falcón, Alonso, Fernández, & Pérez-Lombard, 2012).

Pese a lo anterior, se observa que no existe una herramienta sistematizada para obtener indicadores energéticos en función de unidades de producción final. La información se ha

reportado en trabajos puntuales, sin embargo, su utilización podría darse de manera sistemática al tener en cuenta que la información es recogida en la EAM.

El costo administrativo de involucrar información productiva en los indicadores puede ser alto, por esto se sugiere centrar los esfuerzos en los sectores más intensivos en consumo (ejemplo: metalúrgico, textil). Para dichos sectores, podrían realizarse indicaciones sobre el tipo de unidades de producción a reportar en la EAM, con el fin de evitar diferencias en los límites de los indicadores elaborados. Actualmente el formulario permite a una empresa indicar las unidades en las que reporta sus cantidades de producción, pero no da recomendaciones o lineamientos sobre las unidades de reporte que deberían utilizarse.

Como complemento a la información recolectada por medios oficiales, en los últimos 5 años se han desarrollado estudios que abarcan toda la gama de fuentes de información de indicadores energéticos (IEA, 2014), correspondientes a encuestas específicas y medición (UPME; CORPOEMA, 2014; UPME & Incombustion, 2014) y modelos, tanto para el cálculo de potenciales de ahorro por sector (UPME; CORPOEMA, 2014; UPME & Incombustion, 2014) como de difusión tecnológica para la elaboración del balance de energía útil (UPME, 2019).

Los análisis recientes del sector industrial se han basado en amplia medida en los estudios para cálculo de potenciales de los sectores manufactureros desarrollados en el 2014. Al analizar estos informes se encuentra que presentan algunos elementos comunes, así como elementos que han sido incluidos únicamente en uno de los estudios. Estos elementos aportan información complementaria y deberían ser tenidos en cuenta para ejercicios similares desarrollados a futuro. En la Tabla 12 se presentan los elementos de estos informes que se recomienda involucrar en metodologías futuras.

**Tabla 12.** Aportes metodológicos de los estudios para la cuantificación del desempeño energético de sectores manufactureros (CIUU 10-18, CIUU 19-31)

<b>Información incluida en ambos informes</b>	<b>Estudio CIUU 10-18 (UPME-Incombustión),</b>	<b>Estudio CIUU 19-31 (UPME-Corpoema)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distribución de consumos por usos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipos de uso final de energía clasificados por tipo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagrama general de los procesos productivos y</li> </ul>

<p> finales de energía y por subsector.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencia, capacidad y antigüedad de los principales equipos de uso final de energía para la muestra discriminado por subsector.</li> <li>• Recomendaciones operativas y tecnológicas para la mejora del uso de la energía en las industrias.</li> </ul>	<p> de tecnología (ejem: tipo de caldera).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumos específicos (energía/unidades de producción) diferenciados por energía eléctrica y térmica. Análisis sobre la dispersión en los datos.</li> <li>• Observaciones sobre la homogeneidad en las unidades de producción reportadas.</li> </ul>	<p> operaciones asociadas a un subsector industrial (CIUU a tres dígitos).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelos para el cálculo de potenciales de ahorro de una empresa, diferenciados por subsector.</li> </ul>
--	---	--

Elaboración propia

### Recolección de Información asociada a capacidades organizacionales

Como se ha observado, una importante brecha en la información disponible se encontró en lo asociado a evaluación de capacidades organizacionales en función del desempeño energético, incluyendo aspectos asociados a la estructura organizacional, el personal relacionado con la operación y gestión de la energía en los procesos productivos y las capacidades de soporte para la mejora del desempeño energético.

La información de las fuentes administrativas (EAM, EDIT) tiene algunas variables que se relacionan con el tema, pero que por su origen y manera de ser formuladas no cumplen con las condiciones para ser incluidas en un análisis de desempeño energético. En especial, se considera que algunas de las variables que están siendo consideradas en la encuesta EDIT, pueden ser de interés para ser evaluadas desde la dimensión del desempeño energético.

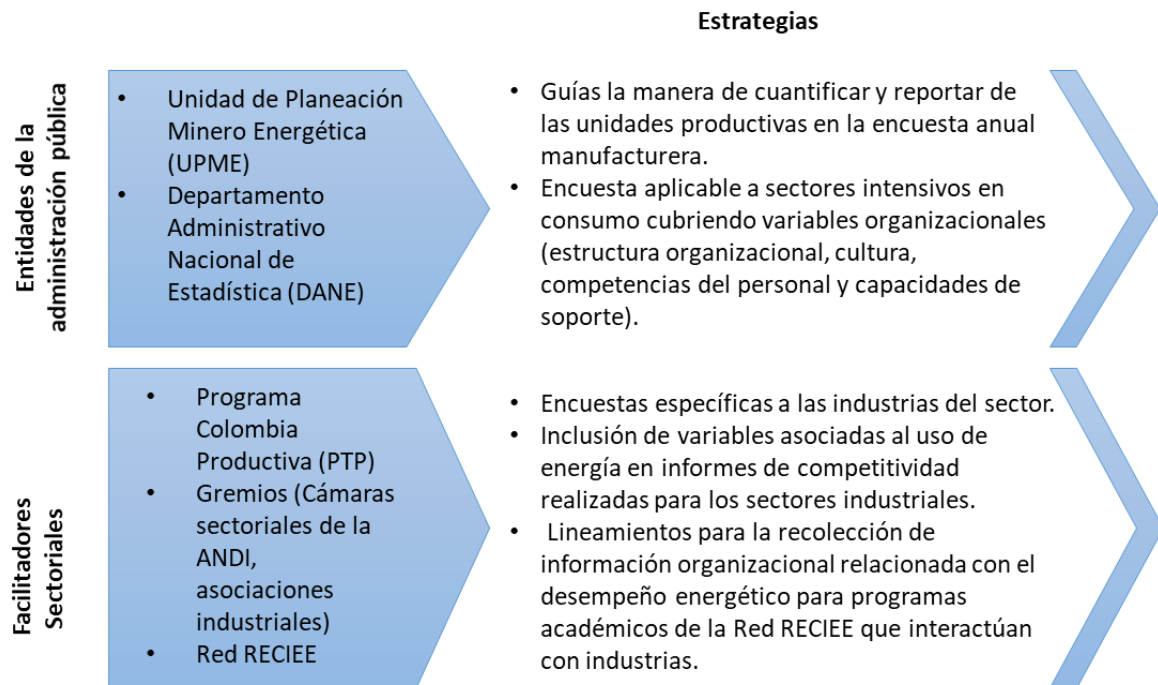
Con base en lo anterior, se considera que el tema se puede abordar a través de una encuesta específica para sectores intensivos en consumo, centrada en la caracterización del desempeño energético. El instrumento podría incluirse como un anexo de la EAM (únicamente para sectores intensivos en industrias), o como una encuesta independiente. Su aplicación podría realizarse desde entidades gubernamentales del nivel de administración pública o desde entidades de apoyo del nivel sectorial, lo cual tendría la ventaja de permitir un mayor contacto con las industrias para disminuir sesgos en la información. En este sentido las asociaciones industriales podrían ser un canal adecuado para diseminar la herramienta, orientar su diligenciamiento y agrupar resultados.

Como ejemplo, el instrumento podría aplicarse con apoyo de las cámaras sectoriales de la ANDI, donde se agrupan algunos de los sectores más intensivos en uso de energía. Otro actor que podría jugar este rol es el programa Colombia Productiva (PTP). Se considera que este programa cuenta con capacidades multidisciplinares para abordar el desempeño energético, así como intereses alineados con los de la industria y facilidad de acceso a empresas de los sectores, lo que lo convierte en un buen canal para la aplicación del instrumento.

De otra parte, la Red RECIEE puede resultar un actor de importancia para recolectar información relacionada con el desempeño energético de las industrias, tanto de tipo técnico como organizacional. En particular, las universidades de la red RECIEE cuentan con programas enfocados en gestión energética a nivel de educación continua y programas de posgrado. A través de estos programas las universidades tienen contacto permanente con la industria y realizan trabajos de campo enfocados en la revisión del desempeño energético. Aportar lineamientos como los tenidos en cuenta en este trabajo para las plantillas o formularios de identificación de las empresas con las que se trabaje como parte de estos programas, permitiría tener una base de información valiosa para involucrar en estudios sectoriales.

Recogiendo los lineamientos establecidos, en la Figura 13 se plantea un esquema para el para la caracterización del desempeño energético colombiano, mediante la interacción de entidades gubernamentales y facilitadores en el nivel sectorial.

**Figura 13.** Esquema para la interacción de entidades en función de la caracterización del desempeño energético de sectores industriales



Elaboración propia

### **Propuesta de estructura para una encuesta centrada en la caracterización del desempeño energético industrial**

Con base en la revisión de encuestas de la EDIT y en las variables incluidas en el modelo alimentado con información de la Red RECIEE, se propone que el mecanismo de recolección de información propuesto en el título anterior abarque los siguientes elementos:

#### **Estructura organizacional**

- La empresa cuenta con uno o varios cargos asociados a la gestión de la energía (encargados de levantamiento de información energética de equipos, seguimiento a consumos, planteamiento de acciones de mejora, etc.)
- La empresa cuenta con grupos interdisciplinarios centrados en el seguimiento al desempeño energético o en la formulación de acciones para la mejora del desempeño energético.

- La empresa ha recibido insumos para la mejora de su desempeño energético de las siguientes divisiones
  - Producción
  - Mantenimiento
  - Sistemas de Gestión
  - Gerentes o personal directivo
  - Otras

#### Cultura

- La empresa ha realizado trabajos conjuntos con instituciones externas para la mejora de su desempeño energético
- La empresa cuenta con mecanismos de comunicación del desempeño energético a los diferentes niveles de la organización.
- La empresa ha realizado cambios tecnológicos en equipos motivada por oportunidades en la mejora del desempeño energético

#### Estrategia

- La empresa cuenta con objetivos estratégicos relacionados con la mejora del desempeño energético
- La empresa ha desarrollado proyectos para mejorar su desempeño energético motivados desde la gerencia

#### Competencias del personal relacionado con el desempeño energético

- Inversiones en capacitación asociada a la mejora del desempeño energético.
- Tipo de personal que ha sido incluido en las capacitaciones (áreas de producción y mantenimiento, áreas administrativas y financieras, etc.)
- La empresa ha decidido no realizar proyectos de mejora en el desempeño energético debido a falta de personal calificado

#### Capacidades de Soporte

- La empresa cuenta con medidores de energía eléctrica al interior de su proceso productivo
- La empresa cuenta con medidores de otro tipo de energéticos al interior de su proceso productivo
- La empresa ha introducido innovaciones en los procesos productivos enfocadas en la mejora de los usos de la energía
- La empresa cuenta con Sistemas de Gestión Implementados
  - Los sistemas de gestión han permitido mejorar la manera en que es usada la energía al interior de la empresa o disminuir los consumos de energía
- La falta de recursos ha sido uno de los obstáculos para realizar acciones de mejora del desempeño energético
- La falta de información tecnológica ha sido un obstáculo para realizar acciones de mejora del desempeño energético
- La incertidumbre técnica de los proyectos ha sido un obstáculo para realizar acciones de mejora del desempeño energético
- La empresa ha hecho inversión en tecnologías de Información y Telecomunicaciones para mejorar sus capacidades de medición del desempeño energético

La información recogida puede incluir datos de consumo y producción o puede contrastarse con la información reportada en la encuesta anual manufacturera. La opción que se seleccione dependerá de la institución que realice el levantamiento de la información.

Otra posible opción para evaluar los resultados obtenidos es el establecimiento de una escala de benchmarking, similar a la propuesta por Trianni et al. (2019), en la que se asignan categorías según el lugar en que se encuentre la empresa con respecto a diferentes situaciones deseadas reportadas en la literatura.





## **9. Conclusiones y recomendaciones**

### **9.1 Conclusiones**

En la presente tesis se exploraron los elementos requeridos para lograr una caracterización integral del desempeño energético de sectores industriales colombianos, complementando el enfoque de los estudios e información actuales con elementos asociados a las capacidades organizacionales de las empresas.

La extensión del análisis al ámbito sectorial implica entender las relaciones entre las variables organizacionales y el desempeño energético, generar metodologías para su medición, establecer herramientas para la captura de la información y plantear metodologías de análisis a nivel sectorial.

En respuesta al primero de estos requerimientos, se establecieron cinco áreas para categorizar las capacidades organizacionales, las cuales coinciden con los principales motivadores de la eficiencia energética en la industria y con factores resaltados como capacidades dinámicas en el área de la competitividad. Para la valoración de estas categorías, se estructuraron una serie de variables que permiten la cuantificación de capacidades para contrastarlas con resultados en desempeño energético.

Este modelo se validó con información de empresas beneficiarias de la Red RECIEE. Se propone su extensión a la población de empresas del sector industrial mediante la creación de encuestas específicas sobre el desempeño energético para ser aplicadas periódicamente en una muestra de sectores intensivos en consumo.

Para la visualización de la información, se propone la creación de perfiles asociados a las variables con impacto significativo sobre el desempeño energético. En los resultados del trabajo se presenta un ejemplo de perfil para las empresas de los sectores alimento (CIUU 10) y plástico (CIUU 22) participantes del programa de consolidación de la Red RECIEE. Bajo la información sectorial disponible actualmente, este análisis puede

contrastarse con diferentes variables asociadas al desempeño energético tales como la variación en la intensidad energética o en la relación de energía consumida con unidades finales de producción.

Sobre los resultados de la validación del modelo en empresas beneficiarias de la Red RECIEE, se resalta la existencia de una relación entre los factores 'estructura organizacional' y 'cultura' con el potencial de ahorros estimados de una empresa. Dentro de estas categorías, se destacan la existencia de un cargo de gestor energético o de divisiones de la empresa para seguimiento a la gestión de la energía, y el estado de la información energético productiva, como elementos de importancia que pueden asociarse al mejor desempeño energético de una industria.

Un resultado en principio contradictorio muestra que las empresas con calificaciones menores en las categorías organizacionales evaluadas tienden a tener menores potenciales de ahorro. No obstante, esto se explica debido a que la mejor calificación en capacidades organizacionales permite también la realización de mejores análisis energético productivos, facilitando la identificación de potenciales por gestión tradicionalmente ocultos para las empresas.

El trabajo presenta algunas limitaciones en la información utilizada, que restringen la interpretación de los resultados obtenidos y ubican algunos de los análisis dentro de un contexto exploratorio. No obstante, se considera que representa un punto de partida para fortalecer la línea de investigación empírica y aplicaciones prácticas de la temática y reviste un marco apropiado para el planteamiento de proyectos conjuntos entre las universidades y actores de interés en el ámbito sectorial industrial.

## **9.2 Recomendaciones**

### **Recomendaciones sobre la Información y fuentes usadas actualmente en la caracterización de elementos del desempeño energético a nivel de sectores industriales colombianos**

Dentro de las fortalezas identificadas en las fuentes y estudios actuales asociados a la caracterización energética del sector industrial, se destaca el uso creciente de diferentes fuentes para mejorar la calidad de la información disponible:

- Información administrativa, representada en la Encuesta Anual Manufacturera y el Balance Energético Colombiano para la obtención de información de consumos por energético primario.
- Encuestas específicas y mediciones en una muestra de empresas del sector, a través de los estudios de potenciales de ahorro para el sector manufacturero (en 2014)
- Modelos para el establecimiento de potenciales de ahorro (en los estudios desarrollados en 2014) y el balance de energía útil publicado en 2019.

Se considera que estas fuentes pueden mejorarse, centrándose en lograr la uniformidad, y replicabilidad de la información. En especial, pueden establecerse guías para favorecer la forma en que se registra la información productiva de la Encuesta Anual Manufacturera y metodologías para replicar los trabajos de caracterización energética realizados en el sector.

### **Aportes en las líneas de trabajo del grupo GRISEC**

El planteamiento del trabajo se dio desde una perspectiva inductiva, partiendo de las generalidades del concepto del desempeño energético y enfocándose escaladamente en aspectos de mayor interés para el modelo. De esta manera, el planteamiento inicial tenía contemplado la posible inclusión de aspectos tecnológicos o productivos. No obstante, la corriente de la investigación llevo por si misma a centrarse en aspectos organizacionales.

Esta situación conecta con el trabajo que ha venido desarrollando el grupo GRISEC, a través del cual se ha buscado abordar la gestión de la energía en las industrias desde un enfoque integral, abarcando tanto las técnicas y análisis tradicionalmente usados (auditorías energéticas, censos de cargas, etc.) como el análisis desde la perspectiva organizacional. En este sentido es importante destacar que la corriente académica de trabajo en esta área se alinea con el trabajo práctico del grupo.

Cabe destacar que el ámbito de trabajo identificado es relativamente reciente y es de esperar que en el corto plazo se intensifique la dinámica de investigación, lo que abre la puerta a nuevos aportes del conocimiento desde los estudios nacionales.

## **Áreas de investigación y aplicación en el ámbito académico y empresarial**

El presente trabajo conecta aspectos de la literatura académica con aplicaciones prácticas para el diagnóstico del desempeño energético a nivel sectorial y de organizaciones. En este sentido, se considera que existen posibles extensiones para la investigación desde el ámbito académico y desde la aplicación práctica.

Desde la perspectiva académica, se considera de interés continuar la exploración del desempeño energético de una empresa bajo la visión basada en recursos. La investigación puede enfocarse hacia el estudio del desempeño energético como un recurso diferenciador para la empresa, identificando las características que debe tener para ser valioso, escaso, no imitable y no sustituible y, por ende, resultar una ventaja competitiva.

En línea con este aspecto, se considera importante la investigación sobre la influencia que tienen las variables del entorno, especialmente aquellas del ámbito competitivo, sobre el desempeño energético de las industrias.

Desde la relación entre academia e industria, se considera importante mejorar las aproximaciones hacia la cuantificación de capacidades organizacionales de las empresas, con base en los conceptos teóricos aquí propuestos. Como se ha mencionado, un ámbito importante de aplicación es el establecimiento de lineamientos para la recolección de información en empresas que tengan proyectos conjuntos con universidades de la Red RECIEE. No obstante, otras entidades del ámbito como gremios y asociaciones industriales podrían iniciar trabajos con sus industrias que incluyan esta aproximación.

Finalmente, dado que el enfoque de desempeño energético usado en el presente trabajo se tomó la norma ISO 50001, se sugiere involucrar los aspectos aquí mencionados en las discusiones que actualmente se realizan alrededor de la norma. Cabe resaltar que en el trabajo que realiza el Comité Técnico Internacional ISO TC-301, Sistemas de Gestión de la Energía, se están desarrollando guías y normas que trascienden la frontera de las

organizaciones abarcando el entorno sectorial y de administración pública, por esta razón la discusión se considera de mayor importancia.



# A. Anexo: Aplicativo de diagnóstico de capacidades para la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía



## DIAGNÓSTICO DE CAPACIDADES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA



### INTRODUCCIÓN

El aplicativo *Diagnóstico de Capacidades* tiene como fin evaluar las capacidades actuales de la organización para la implementación de un Sistema de Gestión Integral de la Energía, alineado con la ISO 50001. Para ello en la hoja **Evaluación** el gestor debe calificar cada una de los factores descritos según la siguiente clasificación:



1	La organización debe realizar cambios en este aspecto antes de iniciar un proceso de implementación de un SGE.
2	La organización ha tenido algunas iniciativas que deben formalizarse para integrarse de manera activa a un SGE.
3	La organización cuenta con avances que facilitarán la implementación de un SGE bajo los requisitos de la ISO 50001,
4	La organización cuenta con condiciones para instalar un SGE bajo los requisitos de ISO 50001.
5	La organización cuenta con altas fortalezas para implementar un SGE y lograr resultados sobresalientes en la mejora de su desempeño energético.

Para guía del gestor, en la hoja de **Evaluación** se ha incluido una matriz que describe algunas condiciones que podrían encontrarse en una organización que se clasifique en cada una de las categorías. La matriz se incluye únicamente como guía y la clasificación final dependerá del criterio del gestor según las situaciones observadas durante el trabajo en campo.

Para iniciar haga click en el botón **Evaluar Empresa**. Una vez califique cada una de las categorías, haga clic en continuar para obtener el resumen de la evaluación.

Evaluar Empresa



**Capacidades para la implementación de un SGE**  
 Califique cada uno de los siguientes aspectos de 1 a 5 según el estado en el que considere se encuentre la empresa, teniendo como guía la descripción en cada una de las casillas.

Quando haya finalizado de dic en continuar para mostrar la gráfica de calificación.



Continuar

	Califique	1	2	3	4	5
La energía dentro de la planeación estratégica de la organización	1	La organización no considera aspectos energéticos en su planeación estratégica	La organización menciona aspectos relacionados con gestión de la energía en su planeación estratégica (ejem: temas ambientales, energías renovables etc.)	La organización menciona aspectos específicos de eficiencia o gestión de la energía dentro de su planeación estratégica	Los aspectos energéticos son de alta importancia en la planeación estratégica de la empresa	Los aspectos energéticos son de alta importancia en la planeación estratégica de la empresa y la alta gerencia ha realizado acciones de impacto en función de esta visión
Personal encargado de la gestión de la energía	3	No existe personal que desarrolle acciones específicas para mejorar el uso de la energía en la organización.	El personal de la organización ha tenido iniciativas para mejorar el uso de la energía pero no han respondido a una planeación específica para mejorar el desempeño energético.	La organización cuenta con personal asignado para trabajar en temas de gestión de la energía o eficiencia energética.	La organización cuenta con un equipo de gestión de la energía, con participación de las áreas más importantes en función de sus procesos productivos y del nivel estratégico y táctico de la organización, lo cual ha llevado a la implementación de acciones para mejorar el desempeño energético.	La organización cuenta con un equipo de gestión de la energía, con participación de las áreas más importantes en función de sus procesos productivos y del nivel estratégico y táctico de la organización, el cual ha llevado a la implementación de acciones para mejorar el desempeño energético. Dentro del equipo, la organización cuenta con uno o varios gestores energéticos con formación especializada en esta área.
Capacitación	5	La organización no realiza regularmente capacitaciones, conferencias o similares para el crecimiento profesional de sus empleados.	La organización realiza regularmente capacitaciones pero no en áreas relacionadas con la gestión de la energía.	La organización tiene establecidos programas de capacitaciones. La organización ha realizado algunas capacitaciones en temas relacionados con desempeño energético pero no responden a una planeación específica para este campo.	La organización ha realizado capacitaciones para mejorar su gestión de la energía respondiendo a necesidades específicas.	La organización cuenta con un plan de capacitaciones en temas de gestión de la energía que responde a una evaluación sistemática de sus necesidades energético-productivas.
Identificación y medición de usos y consumos energéticos por áreas	2	La organización no tiene identificadas las áreas o procesos de mayor consumo ni tiene registros de su matriz energética.	Una o varias divisiones de la organización tienen registros de sus consumos energéticos (por ejemplo hojas de cálculo con los valores históricos de las facturas) pero la información no es conocida por otras áreas ni usada en toma de decisiones.	La organización tiene registros organizados de sus consumos energéticos (ejem: hoja de excel con análisis de consumos históricos registrados en las facturas) y tiene identificada su matriz energética en función de sus facturas de energía.	La organización tiene identificada su matriz energética y las áreas y procesos de mayor consumo, ya que ha realizado censos de cargas o prácticas similares.	Se tienen identificadas y cuantificadas las áreas y procesos productivos con mayor consumo de la energía o potenciales de ahorro, y se les realiza monitoreo constante.
Información energético productiva	1	La empresa no tiene registros energéticos organizados y la información productiva histórica no es adecuada para relacionarla con el consumo energético.	Se tienen registros históricos de producción, discriminados por líneas de proceso. Se tienen registros de consumos de energéticos primarios.	Se tienen registros históricos de producción, discriminados por líneas de proceso. Se tienen registros organizados de consumos de energéticos primarios. La información permite el diseño de indicadores energéticos a nivel de empresa.	La empresa tiene sectorizada la información de algunos energéticos (ejem: medidores de consumo de energía eléctrica, medidores de flujo de vapor etc.) pero la información no puede compararse de manera adecuada con la información histórica de producción.	La empresa tiene sectorizada la medición de los energéticos (primarios y secundarios) más importantes para su proceso productivo e información productiva que puede relacionarse de manera efectiva con la energética para el seguimiento al desempeño energético.
Indicadores y Metas energéticas	2	La organización no cuenta con indicadores para evaluar su desempeño.	La organización tiene sistemas de indicadores efectivos, pero no incluyen indicadores energéticos.	La organización cuenta con indicadores energéticos pero no hay una retroalimentación constante de los mismos	La organización tiene indicadores energéticos y ha tomado decisiones en función de ellos, pero no ha establecido metas energéticas.	Se tienen establecidos indicadores y metas energéticas que se evalúan regularmente y han servido a la toma de decisiones.
Sistemas de Gestión Implementados	1	No existen sistemas de gestión implementados en la empresa.	La organización ha iniciado la implementación de sistemas de gestión pero no hay un liderazgo marcado desde la gerencia	La empresa tiene sistemas de gestión (calidad, ambiental, etc) implementados pero áreas representativas de la empresa no perciben los beneficios de su implementación. O bien, se están implementando Sistemas de Gestión y es claro el compromiso de la empresa en este proceso.	La empresa tiene sistemas de gestión implementados y maduros	La empresa cuenta con sistemas de gestión maduros, que han generado impactos positivos percibidos de manera general por toda la organización.
Comunicación	3	La organización no comunica internamente información relacionada con los consumos de energía y la producción.	La organización comunica información relacionada con los consumos de energía y la producción, pero no se rige por un plan para llevar a cabo este proceso.	La organización tiene un plan establecido de comunicación de consumo energético y producción, pero estos datos no están organizados en forma de indicadores de desempeño energético donde se observe la eficiencia energética de la organización.	La organización comunica internamente su desempeño energético a través de indicadores que reflejan de manera clara las mejoras alcanzadas.	La organización ha divulgado internamente su política energética e informa periódicamente su desempeño energético a través de indicadores, metas y objetivos energéticos.





**SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL - SGIE**  
RESULTADOS



**Escala de Evaluación**

1	La organización debe realizar cambios en este aspecto antes de iniciar un proceso de implementación de un SGE.
2	La organización ha tenido algunas iniciativas que deben formalizarse para integrarse de manera activa a un SGE.
3	La organización cuenta con avances que facilitarían la implementación de un SGE bajo los requisitos de la ISO 50001.
4	La organización cuenta con condiciones para instalar un SGE bajo los requisitos de ISO 50001.
5	La organización cuenta con altas fortalezas para implementar un SGE y lograr resultados sobresalientes en la mejora de su desempeño energético.

Volver a diligenciar



## Bibliografía

- Abels, B., Sever, F., Kissock, K., & Ayele, D. (2011). Understanding Industrial Energy Use Through Lean Energy Analysis. *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, 4(1), 495–504. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-79959570997&partnerID=40&md5=9394a4c15a505806260edfdf6b2f0b19>
- Ang, B. W. (2006). Monitoring changes in economy-wide energy efficiency: From energy-GDP ratio to composite efficiency index. *Energy Policy*, 34, 574–582. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.11.011>
- Aplak, H. S., & Sogut, M. Z. (2013). Game theory approach in decisional process of energy management for industrial sector. *Energy Conversion and Management*, 74, 70–80. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.03.027>
- Avalone, C. A. (2018). Influencing Cultural Change as a New Energy Manager\*. *Energy Engineering: Journal of the Association of Energy Engineering*, 115(4), 38–45. <https://doi.org/10.1080/01998595.2018.12016671>
- Backlund, S., Thollander, P., Palm, J., & Ottosson, M. (2012). Extending the energy efficiency gap. *Energy Policy*, 51, 392–396. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.08.042>
- Barney, J. (1991). Firm Resources and Sustained Competitive Advantage. *Journal of Management*, Vol. 17, pp. 99–120.
- Barreto, I. (2010). Dynamic Capabilities: A review of past research and an agenda for the future. *Journal of Management*, 36(1), 256–280. <https://doi.org/10.1177/0149206309350776>
- Barrutia, J. M., & Echebarria, C. (2015). Resource-based view of sustainability engagement. *Global Environmental Change*, 34, 70–82.

<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.06.009>

BID, FOMIN, & CAEM. (2012). *OPEN, Oportunidades de Mercado para Energías Limpias y Eficiencia Energética*.

BIEE. (2015). Página Web Progama BIEE.

Botchie, D., Sarpong, D., & Bi, J. (2018). A comparative study of appropriateness and mechanisms of hard and soft technologies transfer. *Technological Forecasting and Social Change*, 131(August 2017), 214–226.

<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.08.010>

Boyd, G., Dutrow, E., & Tunnessen, W. (2008). The evolution of the ENERGY STAR?? energy performance indicator for benchmarking industrial plant manufacturing energy use. *Journal of Cleaner Production*, 16(6), 709–715.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.02.024>

Bunse, K., Vodicka, M., Schönsleben, P., Brühlhart, M., & Ernst, F. O. (2011). Integrating energy efficiency performance in production management – gap analysis between industrial needs and scientific literature. *Journal of Cleaner Production*, 19(6–7), 667–679. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.11.011>

Cagno, E., Moschetta, D., & Trianni, A. (2019). Only non-energy benefits from the adoption of energy efficiency measures? A novel framework. *Journal of Cleaner Production*, 212, 1319–1333.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.049>

Cahill, C. J., & Gallachoir, B. P. (2010). Monitoring energy efficiency trends in European industry: Which top-down method should be used? *Energy Policy*, 38(11), 6910–6918. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.07.006>

Campos, J. C. (2008). El MGIE, un modelo de gestión energética para el sector productivo nacional. *El Hombre y La Máquina*, (30), 18–31.

Carmeli, A., & Tishler, A. (2004). The relationships between intangible organizational elements and organizational performance. *Strategic*

- Management Journal*, 25(13), 1257–1278. <https://doi.org/10.1002/smj.428>
- Colciencias, UPB, & EPM. (2001). *Gestión energética. Herramientas para el control de variables por proceso*. 123.
- E&Y, & PTP. (2017). *Alternativas en eficiencia energética y compra de energía para la Industria Cundinamarca*.
- Enerdata, Cepal, & ADEME. (2013). *Guidelines for BIEE data template*.
- Enginglu, D., & Arikan, C. L. (2016). A literature review on core competencies. *International Journal of Management (IJM)*, 7(3), 120–127.
- Falcón, R. G., Alonso, D. V., Fernández, L. M. G., & Pérez-Lombard, L. (2012). Improving energy efficiency in a naphtha reforming plant using Six Sigma methodology. *Fuel Processing Technology*, 103, 110–116. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.07.010>
- Ferré, F. (1988). *Philosophy and Technology* (U. of G. Press, Ed.). <https://doi.org/10.5840/techne20101414>
- González, A. J., Castrillón, R., Quispe, E. C., Investigación, G. De, Occidente, U. A. De, Gonzalez, A. J., & Castrillon, R. (2012). Energy Efficiency Improvement in a Cement Industry by wet process through integral energy management system implementation. *IEEE Cement Industry Technical Conference (Paper)*, 1–13. <https://doi.org/10.1109/CITCON.2012.6215688>
- Gopalakrishnan, B., Mardikar, Y., Gupta, D., Jalali, S., & Chaudhari, S. (2012). Establishing baseline electrical energy consumption in wood processing sawmills for lean energy initiatives: A model based on energy analysis and diagnostics. *Energy Engineering: Journal of the Association of Energy Engineering*, 109(5), 40–80. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84864131170&partnerID=40&md5=aa3273bc3728f063524ff69a09b95071>
- Guevara Cely, L., & Castellanos, O. F. (2000). Incidencia de la tecnología blanda y la tecnología dura en el desarrollo industrial de la biotecnología en Colombia. *Innovar, Revista de Ciencias Administrativas y Sociales*, (15).

- Guo, W., Wenning, T., Nimbalkar, S., Thirumaran, K., Armstrong, K., & Levine, E. (2019). A New Methodology for Calculating The Energy Performance of Manufacturing Facilities. *Energy Engineering: Journal of the Association of Energy Engineering*, 116(2), 7–21. <https://doi.org/10.1080/01998595.2019.12054402>
- Henriques, J., & Catarino, J. (2016). Motivating towards energy efficiency in small and medium enterprises. *Journal of Cleaner Production*, 139(2016), 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.026>
- Horowitz, M. J. (2008). The trouble with energy efficiency indexes: La aritmetica non e opinione. *Energy Efficiency*, 1, 199–210. <https://doi.org/10.1007/s12053-008-9015-9>
- Hyman, B., Ozalp, N., Varbanov, P. S., & Van Fan, Y. (2019). Modeling energy flows in industry: General methodology to develop process step models. *Energy Conversion and Management*, 181(December 2018), 528–543. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.12.035>
- ICONTEC. (2008). *NTC 5800:2008 Gestión de la Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i). Terminología y definiciones de las actividades de I+D+i.*
- ICONTEC. (2011). *NTC-ISO 50001, Sistemas de Gestion de la Energía, Requisitos con orientacion para su uso* (p. 24). p. 24. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).
- ICONTEC. (2019). *NTC-ISO 50001:2019. Sistemas de Gestión de la Energía, Requisitos con Orientación para su Uso.*
- IEA. (2007). *Tracking Industrial Energy Efficiency and CO 2 Emissions.*
- IEA. (2018). *Energy Efficiency 2018. Analysis and outlooks to 2040.*
- IEA, I. E. A. (2014). *Energy Efficiency Indicators Fundamentals on Statistics.* 1–387.
- ISO. (2018). *The ISO survey of management system standar certifications - 2017*

- *Explanatory Note*. (August).
- Johansson, M. T., & Thollander, P. (2018). A review of barriers to and driving forces for improved energy efficiency in Swedish industry– Recommendations for successful in-house energy management. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(October 2017), 618–628. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.052>
- Ke, J., Price, L., McNeil, M., Khanna, N. Z., & Zhou, N. (2013). Analysis and practices of energy benchmarking for industry from the perspective of systems engineering. *Energy*, 54, 32–44. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.018>
- Keskin, C., & Kayakutlu, G. (2012). Value stream maps for industrial energy efficiency. *2012 Proceedings of Portland International Center for Management of Engineering and Technology: Technology Management for Emerging Technologies, PICMET'12*, 2824–2831. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84867924413&partnerID=40&md5=af8971d81f39952e2c89a2ba79159345>
- Liu, X., Yamamoto, R., & Suk, S. (2014). A survey analysis of energy saving activities of industrial companies in Hyogo, Japan. *Journal of Cleaner Production*, 66(October 2012), 288–300. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.011>
- Martin, R., Muûls, M., De Preux, L. B., & Wagner, U. J. (2012). Anatomy of a paradox: Management practices, organizational structure and energy efficiency. *Journal of Environmental Economics and Management*, 63(2), 208–223. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2011.08.003>
- Máša, V., Stehlík, P., Touš, M., & Vondra, M. (2018). Key pillars of successful energy saving projects in small and medium industrial enterprises. *Energy*, 158, 293–304. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.018>
- Masthene, E. G. (1970). *Technological Change: Its Impact on Man and Society (Harvard studies in technology and society)*.

- McKane, A. (2010). *Thinking Globally: How ISO 50001 - Energy Management can make industrial energy efficiency standard practice.*
- Minminas. *Decreto 1285 de 2013 por el cual se modifica la estructura de la Unidad de Planeación Minero Energética - UPME.* , (2013).
- Moreno, C., Muñoz, O., & Rojas, D. (2017). Electricity Intensity in Colombian small and medium sized enterprises: an exploration of the effects of firm level innovative activity. *Memorias Del V CIUREE, Congreso Internacional En Eficiencia y Gestión Energética*, 162–174.
- ODYSSEE-MURE. (n.d.). ODYSSEE-MURE PROJECT.
- Paju, M., Heilala, J., Hentula, M., Heikkila, A., Johansson, B., Leong, S., & Lyons, K. (2010). Framework and indicators for a Sustainable Manufacturing Mapping methodology. *Simulation Conference (WSC), Proceedings of the 2010 Winter*, pp. 3411–3422. <https://doi.org/10.1109/WSC.2010.5679031>
- Paramonova, S., Thollander, P., & Ottosson, M. (2015). Quantifying the extended energy efficiency gap-evidence from Swedish electricity-intensive industries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 472–483. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.012>
- PEN-SGIE. (2013). *Programa estratégico para la innovación en la gestión empresarial, mediante la asimilación, difusión y generación de nuevos conocimientos en gestión energética y nuevas tecnologías e implementación del Sistema de Gestión Integral de la Energía en empresas.* Bogotá.
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Velázquez, D. (2013). Revisiting energy efficiency fundamentals. *Energy Efficiency*, 6(2), 239–254. <https://doi.org/10.1007/s12053-012-9180-8>
- Priás, O. (2006). *Gestión estratégica integral de la eficiencia en ambientes competitivos.* Universidad de Cien Fuegos Cuba.
- Priás, O., & Montaña, D. (2014). Modelo Estratégico de Innovación para impulsar



- la Gestión Energética en Colombia. *Revista Energética*, 44, 61–68.
- Priem, R. L. L., & Butler, J. E. E. (2001). Is the Resource-Based for Strategic Management Perspective Research? *Academy of Management Review*, 26(1), 22–40. <https://doi.org/10.5465/AMR.2001.4011928>
- Proskuryakova, L., & Kovalev, a. (2015). Measuring energy efficiency: Is energy intensity a good evidence base? *Applied Energy*, 138, 450–459. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.10.060>
- Rahimifard, S., Seow, Y., & Childs, T. (2010). Minimising embodied product energy to support energy efficient manufacturing. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 59(1), 25–28. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2010.03.048>
- RECIEE. (2018). *Programa de consolidación de la Red Colombiana de Conocimiento en Eficiencia Energética, RECIEE. 2014-2018 Memorias y resultados.*
- Rezessy, S., & Bertoldi, P. (2011). Voluntary agreements in the field of energy efficiency and emission reduction: Review and analysis of experiences in the European Union. *Energy Policy*, 39(11), 7121–7129. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.08.030>
- Richert, M. (2017). An energy management framework tailor-made for SMEs: Case study of a German car company. *Journal of Cleaner Production*, 164, 221–229. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.139>
- Rizzi, F., Annunziata, E., & Frey, M. (2018). The Relationship between Organizational Culture and Energy Performance: A Municipal Energy Manager Level Study. *Business Strategy and the Environment*, 27(6), 694–711. <https://doi.org/10.1002/bse.2025>
- Rojas, D., & Prias, O. (2016). Análisis de problemáticas para el establecimiento de un sistema integral de indicadores de desempeño energético a nivel de sectores industriales colombianos. *Memorias Del V CIUREE, Congreso Internacional En Eficiencia y Gestión Energética*, 1–7.

- Rudberg, M., Waldemarsson, M., & Lidestam, H. (2013). Strategic perspectives on energy management: A case study in the process industry. *Applied Energy*, 104, 487–496. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84871885258&partnerID=40&md5=36b31b5da9a4f8162addbdfcd25dc692>
- Schilke, O., Hu, S., & Helfat, C. E. (2018). Quo Vadis, Dynamic Capabilities? A Content-Analytic Review of the Current State of Knowledge and Recommendations for Future Research. *Academy of Management Annals*, 12(1), 390–439. <https://doi.org/10.5465/annals.2016.0014>
- Schulze, M., Nehler, H., Ottosson, M., & Thollander, P. (2016). Energy management in industry - A systematic review of previous findings and an integrative conceptual framework. *Journal of Cleaner Production*, 112, 3692–3708. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.060>
- SGIE. (2013). *Programa Estratégico Nacional Sistemas de Gestión Integral de la Energía. Memorias*.
- Solnørdal, M. T., & Foss, L. (2018). Closing the energy efficiency gap-A systematic review of empirical articles on drivers to energy efficiency in manufacturing firms. *Energies*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/en11030518>
- Tanaka, K. (2008). Assessment of energy efficiency performance measures in industry and their application for policy. *Energy Policy*, 36, 2877–2892. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.03.032>
- Trianni, A., Cagno, E., Bertolotti, M., Thollander, P., & Andersson, E. (2019). Energy management: A practice-based assessment model. *Applied Energy*, 235(October 2018), 1614–1636. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.11.032>
- UPME; CORPOEMA. (2014). *Determinación y priorización de alternativas de eficiencia energética para los subsectores manufactureros códigos CIUU 19*

- a 31 en Colombia a partir de la caracterización del consumo energético para sus diferentes procesos, usos y equipos de uso final.*
- UPME. (2007). *Sistema de Gestión Integral de la Energía Guía de Implementación* (U. de P. M. E. UPME., Ed.). Bogotá.
- UPME. (2014). Actualización de la serie 1975 a 2012 de los Balances Energéticos Nacionales.
- UPME. (2019). *Primer balance de Energía Útil para Colombia y Cuantificación de las Perdidas energéticas relacionadas y la brecha de eficiencia energética Resumen Ejecutivo BEU Sector Industrial*. Bogotá.
- UPME, & Incombustion. (2014). *Determinación del potencial de reducción del consumo energético en eos subsectores manufactureros códigos CIU 10 a 18 en Colombia*. 209. Retrieved from [http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/INFORME\\_III\\_Caracterizacion\\_energetica\\_VerPub.pdf](http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/INFORME_III_Caracterizacion_energetica_VerPub.pdf)
- Velasco-Fernández, R., Giampietro, M., & Bukkens, S. G. F. (2018). Analyzing the energy performance of manufacturing across levels using the end-use matrix. *Energy*, 161, 559–572. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.07.122>