

**Eficiencia energética en microempresas de Medellín:
un estudio de valoración de barreras**

Juan Vanegas y Sergio Botero

Juan Vanegas y Sergio Botero

Eficiencia energética en microempresas de Medellín: un estudio de valoración de barreras

Resumen: *La difusión y penetración de medidas de uso eficiente de energía tienen impactos positivos tanto sobre la competitividad como sobre las condiciones de seguridad de las firmas. Empero, tales impactos son difíciles de alcanzar en la práctica debido a la presencia de barreras que limitan la toma de decisiones por parte de los agentes económicos. Este trabajo identifica, evalúa y valora una serie de barreras al uso eficiente de energía en microempresas de Medellín (Colombia). Mediante el método Proceso de Análisis Jerárquico, se encuentra que la ausencia de incentivos, los altos costos iniciales de inversión, la falta de conocimiento e información del empresario, la falta de disponibilidad de equipos eficientes y los riesgos técnicos son las principales limitantes. Algunas estrategias para contrarrestarlas, plantean que la información debe responder al contexto específico, los instrumentos económicos considerar políticas de precios e incentivos financieros, y la regulación el establecimiento de estándares para mejorar parámetros tecnológicos.*

Palabras claves: *eficiencia energética, barreras a la inversión, microempresas, proceso de análisis jerárquico, proceso de toma de decisiones.* **Clasificación JEL:** D61, D81, L25, C43, Q40

Energy efficiency in microenterprises in Medellín: a study of barriers valuation

Abstract: *The diffusion and penetration of energy efficiency measures have positive impacts on both the competitiveness and the security conditions in which firms operate. However, these impacts are difficult to achieve in practice due to the presence of barriers that limit the decision-making process by economic agents. This research identifies, evaluates, and ranks a number of barriers to the efficient use of energy in the microenterprises of Medellín (Colombia). We used the Analytic Hierarchy Process method, finding that the absence of incentives, the high initial investment costs, the lack of knowledge and information by managers, the lack of availability of efficient equipment, and the technical risks are the main constraints. Some strategies to offset their impact highlight that information must respond to the specific context to be effective, economic instruments must account for pricing and financial incentives, and regulations must deal with establishing standards to improve technological parameters.*

Keywords: *energy efficiency, barriers to investment, microenterprises, analytic hierarchy process, decision making analysis.* **JEL Classification:** D61, D81, L25, C43, Q40

L'efficacité énergétique dans les petites entreprises de Medellín: une évaluation de barrières de marché

Résumé: *L'introduction et la diffusion des mesures concernant l'efficacité énergétique ont des impacts positifs à la fois sur la compétitivité et sur la sécurité des entreprises. Cependant, ces impacts sont difficiles à mettre en œuvre dans la pratique, en raison de la présence de barrières qui restreint la prise de décisions par les agents économiques. Cet article permet d'identifier et d'évaluer un certain nombre d'obstacles à l'efficacité énergétique dans les petites entreprises de la ville de Medellín (Colombie). À travers la méthode d'analyse hiérarchique de tâches, nous montrons que les principales contraintes sont associées à l'absence d'incitations, aux coûts d'investissement élevés, au manque de connaissances et d'information de la part de l'employeur, au manque d'équipements performants et aux risques techniques. Nous montrons également quelques stratégies pour réduire l'impact de ces contraintes, particulièrement nous signalons que l'information doit répondre au contexte spécifique de l'entreprise, les instruments économiques nécessaires à la prise de décisions doivent considérer les politiques de prix et les incitations financières et, finalement il doit y avoir un processus d'établissement de normes à fin d'améliorer les données technologiques.*

Mots-clés: *efficacité énergétique, obstacles à l'investissement, petites entreprises, méthode d'analyse hiérarchique de tâches, processus de prise de décision.* **Classification JEL:** D61, D81, L25, C43, Q40

Eficiencia energética en microempresas de Medellín: un estudio de valoración de barreras

Juan Vanegas y Sergio Botero *

–Introducción. –I. Eficiencia energética y sus barreras: fundamentos teóricos y estado del arte. –II. Contexto para el análisis de las barreras a la eficiencia energética. –III. Estructura metodológica. –IV. Principales hallazgos y discusión general. –Conclusiones. –Bibliografía.

Primera versión recibida en marzo de 2012; versión final aceptada en junio de 2012

Introducción

En Medellín las microempresas juegan un papel importante en la creación de empleo, en las dinámicas económicas y sociales de los barrios, y de la ciudad en general. Un aspecto importante de este tipo de empresas es que nacen espontáneamente y desarrollan su actividad productiva en simbiosis

* *Juan Gabriel Vanegas López*: Economista y M.Sc. en Economía Universidad de Antioquia, Docente cátedra Instituto Tecnológico Metropolitano y docente ocasional del Tecnológico de Antioquia. Dirección postal: Calle 73 No. 76A-354 Bloque F. Dirección electrónica: jg.tecnologico@gmail.com. *Sergio Botero Botero*: IM, M.Sc., D.Sc. George Washington University, Profesor asociado Escuela Ingeniería de la Organización, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. Dirección postal: Carrera 80 No. 65-223. Dirección electrónica: sbotero@unal.edu.co. Agradecimientos: Este artículo expone los principales resultados de la investigación realizada como tesis de Maestría en Economía. Además, el trabajo de maestría hizo parte una investigación más extensa desarrollada en el marco de la alianza CIEN (Centro de Investigación e Innovación en Energía), en la que participaron cuatro grupos de investigación, dos del Instituto Tecnológico Metropolitano (Centro de Estudios Ciudad de Medellín y Grupo de Investigación en Tecnologías Energéticas), y dos de la Universidad de Antioquia (Grupo de Manejo Eficiente de la Energía y Grupo de Ciencia y Tecnología del Gas y Uso Racional de la Energía). También, contó con el apoyo de la Unidad de Investigación y Desarrollo y el Área Mercadeo Transmisión y Distribución de Energía de Empresas Públicas de Medellín (EPM).

con el hogar. Según los datos de la Encuesta de Calidad de Vida 2010, el 7,6% de los hogares de Medellín tiene algún tipo de negocio al interior del hogar, lo que equivale a 52.903 unidades productivas. Generalmente son empresas de sobrevivencia ubicadas en las zonas más pobres de la ciudad: el 50,5% de esas unidades se encuentran localizadas en los estratos 1 y 2 (Alcaldía de Medellín, 2011).

Si se considera la energía como un insumo que hace parte de la función de producción de la firma, la eficiencia energética¹ referida al caso microempresarial, plantea que algunas medidas podrían generar un impacto positivo tanto sobre su productividad como sobre las condiciones de trabajo y el medio ambiente. En el caso de estratos socioeconómicos de bajos ingresos, algo que resulta cierto para los individuos y sus familias concentrados en actividades domésticas, y que es mucho más notorio cuando estos elevan significativamente su consumo de energía al desarrollar diversas actividades económicas en sus hogares con el fin de autogenerar los ingresos y el empleo que el mercado formal no les provee. En este sentido, si bien en términos globales las microempresas no son intensivas energéticamente (comparados con la mediana y gran empresa), individualmente el costo de la energía tiene un peso importante en los costos de producción.

Ahora bien, algunos estudios muestran que los programas tendientes a mejorar el uso de la energía en el país aún no han calado en la población. En efecto, la tasa de adopción de proyectos de eficiencia energética y de fuentes no convencionales de energía en Colombia dista de ser satisfactoria (Minimas, 2007). Variadas razones se exponen para explicar por qué proyectos con alto potencial financiero, económico y social no han sido materializados. Dichas razones se pueden agrupar en el concepto de barreras a la eficiencia

1 En este artículo se entenderá uso eficiente de la energía como: “la utilización de la energía, de tal manera que se obtenga la mayor eficiencia energética, bien sea de una forma original de energía y/o durante cualquier actividad de producción, transformación, transporte, distribución y consumo de las diferentes formas de energía” (Diario Oficial, 2001). De esta forma, la eficiencia energética en microempresas se circunscribe a la etapa del consumo. A su vez, la etapa del consumo de un bien o servicio involucra varias fases que van desde la planeación, compra, uso y reciclaje.

energética y abarcan diversos campos que van desde lo institucional, lo político, lo económico, lo tecnológico, lo organizacional, hasta lo cultural (Miniminas, 2007). Si bien el tema de las barreras en este terreno no es un asunto nuevo en el país –ya desde principios de los noventa habían sido reconocidas (Banco Mundial y Esmap, 1992)–, su cuantificación y valoración ha sido nula, razón por la cual este estudio pretende aportar elementos teóricos y metodológicos que permitan enfatizar en aquellas acciones que requieren ser incluidas y priorizadas en términos de una política pública en el uso eficiente de energía, particularmente en un contexto tan complejo como el microempresarial. En esta línea de argumentación, este estudio busca jerarquizar y valorar la importancia de las barreras al uso eficiente de la energía en las microempresas localizadas en dos zonas de estrato socioeconómico bajo y bajo-bajo de la ciudad de Medellín², las cuales fueron objeto de un primer análisis en la investigación que sirve de base a este trabajo³ (CECIM et al., 2011).

El contexto anterior y la literatura sugieren que existe una potencial brecha energética que se podría reducir si se incorporaran medidas tendientes a mejorar el uso de la energía, toda vez que existen situaciones donde es posible hallar una relación costo-beneficio positiva, que se puede derivar de cambios en los hábitos de consumo de los usuarios y del acceso a equipos energéticos de uso final disponibles en el mercado con un performance superior a los actuales. Si ello es así, ¿por qué la sociedad en general, y los empresarios de las microempresas en particular, no han adoptado medidas tendientes a utilizar la energía de una forma más provechosa y sostenible, con la consecuente

2 Las comunas Doce de Octubre y Popular constituyen el escenario socioeconómico y cultural en el que se localizan las microempresas analizadas en este estudio, en particular aquellas microempresas ubicadas en los barrios Santo Domingo Savio 1, Popular 1 y 2, Doce de Octubre 2 y Picachito.

3 Este artículo parte de los resultados del proyecto de investigación “Uso Racional y Eficiente de Energía en Unidades Microempresariales de Medellín” (CECIM et al., 2011), proyecto que trabajó con una muestra representativa de microempresas localizadas en barrios de estratos bajos de la ciudad de Medellín. Las unidades muestrales fueron 179, el nivel de confianza 95%, y un margen de error de 6,8%, resultados que pueden ser extrapolados linealmente a Medellín. Además, en este proyecto se capacitaron durante cuatro meses a 30 microempresarios en temas de energía y su uso eficiente.

reducción en el valor facturado, la disminución de los costos de producción y una mayor competitividad? Según la literatura, la respuesta puede encontrarse en que existen barreras y fallos de mercado de diversa índole que inhiben un comportamiento racional de los agentes económicos (Carlsmith et al., 1990; Banco Mundial y Esmap, 1992; DeCanio, 1993; Sanstad y Howarth, 1994; Jaffe y Stavins, 1994; Weber, 1997; Sorrell et al., 2004; Minminas, 2007).

Este trabajo se estructura en cuatro grandes secciones. La primera aborda el sustento teórico de la eficiencia energética y sus barreras. Luego se presenta un contexto general de la eficiencia energética. Después, se adentra en la metodología utilizada. Tras ello, se presentan los principales resultados, su análisis y discusión general. Finalmente, se presentan las conclusiones.

I. Eficiencia energética y sus barreras: fundamentos teóricos y estado del arte

A. Elementos conceptuales

Cuando se habla de uso eficiente de energía se involucran no solo aspectos técnicos, sino también aspectos socioeconómicos. En su análisis se ha transitado desde conceptos como conservación, ahorro y uso racional, hacia uso eficiente de energía. La eficiencia energética en un sentido amplio plantea una relación recíproca entre una función, servicio o valor que es suministrado por la energía frente a la energía que es usada. Esta se incrementa cuando un dispositivo de conversión de energía pasa por una modificación técnica que permite producir más calor o más electricidad a partir de la misma cantidad de combustible. También se puede mejorar cuando un equipo energético de uso final se somete a un cambio técnico que le permite proveer el mismo servicio usando menos energía. La energía es conservada cuando la eficiencia es mejorada o cuando el desperdicio de energía es evitado (Patterson, 1997).

En la literatura se señala que existe una combinación entre un alto potencial de ahorro energético y financiero, y una baja tasa de adopción que tienen las medidas de eficiencia energética, lo cual sugiere un comportamiento irracional

por parte de los consumidores⁴. Esta situación da lugar a una ‘paradoja’ –denominada brecha de eficiencia energética–, por la baja penetración en el mercado de alternativas con potencial de ahorro energético (Shama, 1983; Jaffe y Stavins, 1994), y se explica por la presencia de un conjunto de fallos e imperfecciones de mercado que no permiten que se logre una efectiva transformación del mercado.

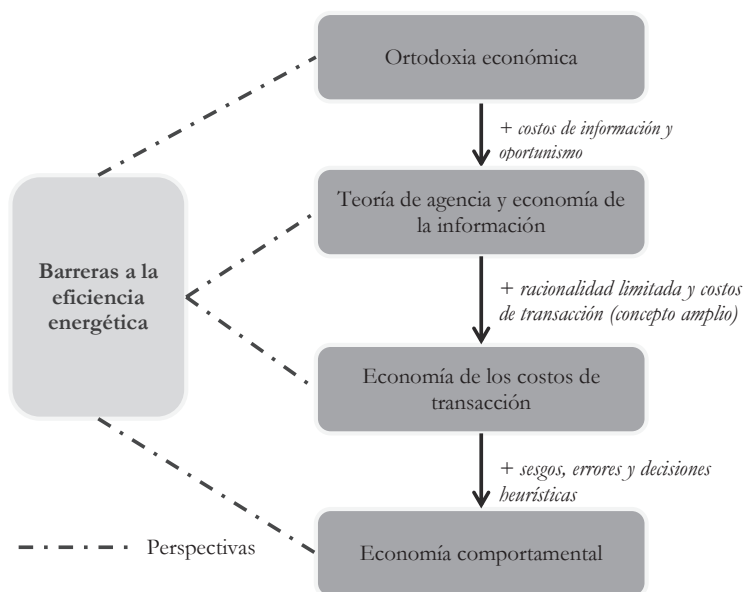
El concepto de barreras se fundamenta teóricamente en la economía neoclásica, la economía de las organizaciones y la teoría del comportamiento. De esta forma, las perspectivas teóricas en la explicación de las barreras a la eficiencia energética trascienden la ortodoxia económica e incluye elementos adicionales que configuran perspectivas teóricas complementarias (Ilustración 1). Los factores que limitan la penetración de equipos energéticamente eficiente pueden ser de dos tipos: 1) fallos de mercado; y 2) manifestaciones de las preferencias de los consumidores. Esta consideración sugiere que es evidente que el consumo de energía depende de otros elementos adicionales, como las actitudes, preferencias, ingresos y precios relativos (Kriström, 2008).

Luego, el análisis económico estándar de la demanda por energía, que sugiere la existencia de fallos informacionales, mercados de capitales imperfectos y otro tipo de desviaciones que no permiten que se compatibilicen el adecuado funcionamiento del mercado en la asignación de las combinaciones óptimas con la realidad empírica, debe ser enriquecido para ofrecer una explicación más acertada al por qué no se toman decisiones de eficiencia energética cuando existe una relación costo-beneficio positiva. En este sentido, a nivel conceptual, tal como se señala en Haddad et al. (1998), el argumento según el cual, las firmas que maximizan beneficios o minimizan costos no muestra consistencia con la teoría estándar neoclásica, con agentes racionales, bien informados y, por lo tanto, deberían explotar aquellas oportunidades para mejorar su desempeño en el mercado. Así, el análisis teórico de la eficiencia energética va más allá incorporando enfoques post-neoclásicos alternativos,

4 No obstante, Shama (1983, p.4) argumenta que desde un punto de vista de la teoría comportamental, la baja tasa de adopción de medidas de conservación de la energía puede considerarse como el resultado de un proceso perfectamente ‘racional’ de los consumidores en la toma de decisiones.

como racionalidad limitada, eficiencia X y costos compensatorios (Howard et al., 2000; Sorrell et al., 2004; Dennis, 2006). Del mismo modo se pueden considerar elementos de la teoría de la firma (Haddad et al., 1998) y el cambio y difusión de tecnología (Jaffe y Stavins, 1994; Sanstad y Howarth, 1994).

Ilustración 1. *Extensión del modelo de análisis ortodoxo de las barreras*



Fuente: Sorrell et al. (2004).

B. Hechos estilizados en el análisis de las barreras a la eficiencia energética

1. Contexto colombiano

En la revisión de estudios relacionados con la eficiencia energética en el país no se encontraron trabajos empíricos que valoraran o cuantificaran la importancia de las barreras⁵. Sin embargo, en varias presentaciones y

5 Es de anotar que en el tema de la eficiencia energética en el país se han desarrollado gran variedad de trabajos que estudian principalmente el problema de la energía, donde si bien se analizan diversos factores, ponen de relieve el punto de vista técnico. Dentro de este tipo de

documentos publicados por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y el Ministerio de Minas se señalan de manera indicativa distintos tipos de barreras, donde se identifican y describen la existencia de limitantes y se esgrimen algunas propuestas para superarlas. A continuación se referencian cuatro trabajos.

Con el objetivo de evaluar el potencial y la estructura de mercado de los servicios de uso racional y eficiente de la energía, la UPME (2002, p.16) encontró que las barreras que existen en el país son comunes en casi todos los países donde se está incorporando la eficiencia energética como una política de estado. En términos específicos los obstáculos tienen que ver directamente con: el contexto económico general; los aspectos tecnológicos; los precios; el financiamiento; el comercio; el medio ambiente; las estructuras de mercado; la disponibilidad de información y normas, entre otras.

Desde un punto de vista macro, el Ministerio de Minas ha identificado y clasificado varios tipos de barreras en cuatro diferentes ámbitos: abastecimiento energético, competitividad de la economía, protección al consumidor, y promoción del uso de energías no convencionales. Las barreras han sido agrupadas para cada caso en cinco categorías: i) políticas y regulatorias; ii) institucionales; iii) económicas (mercado, financiación e incentivos); iv) culturales, educativas e informativas; y v) tecnológicas (Minminas, 2005).

De acuerdo con el Banco Mundial y Esmap (1992, pp. 27-28), las barreras que inhiben lograr una mayor eficiencia energética en los sectores residencial, comercial y oficial de la economía colombiana, se catalogan en institucionales y en imperfecciones del mercado. Si bien los autores consideran que pueden existir barreras de tipo tecnológico, señalan que las características propias

estudios cabe destacar el uso racional de la energía (URE) en algunas industrias de Medellín (Chejne et al., 2000); una guía de buenas prácticas de energía para pymes (Posada e Indisa, 2002); la determinación del potencial técnico y económico de la energía en algunos sectores industriales (UPME, 2004); la determinación del consumo final de energía en sectores no-residenciales (UNAL, 2007); una guía para la implementación de actividades de gestión tecnológica y energética en las mipymes del Alto Magdalena (CIF y EEC, 2008); y finalmente, la promoción de oportunidades de mercado para energías limpias y eficiencia energética entre las pymes de diferentes sectores (CAEM, 2012).

de los consumidores⁶ y el tipo de aparatos que son ofrecidos en el mercado presentan una mayor incidencia.

A nivel sectorial, en el sector industrial, Cosenit (2005, pp.9-12) señala que las barreras que percibe el empresario en la ejecución de proyectos de uso racional de energía (URE) son de nueve tipos: i) las ganancias de proyectos URE no siempre se hacen explícitas; ii) falta de confianza en el sistema de fijación de precios de las fuentes energéticas cuando estas reglas son coyunturales; iii) temor a la inestabilidad de las estructuras normativas y legales; iv) competencia en la destinación de recursos de inversión; v) no existe suficiente capacidad de liderazgo y venta de proyectos URE; vi) falta de conocimiento e información; vii) la falta de intereses comunes entre algunos de los promotores del proyecto URE y el industrial; viii) falta de personal capacitado al interior de la empresa y resistencia en compartir con externos información de su estructura productiva; y ix) limitaciones de financiación para proyectos URE.

Tabla 1. *Metodologías de empleadas en estudios de valoración de barreras*

Enfoque	Autores	País	Sectores económicos
Cuestionarios semiestructurados	Tadashi (2003)	Brasil	Calzado, textil, cerámica
	Rohdin y Thollander (2005)	Suecia	Industria no intensiva
	Rohdin et al. (2007)	Suecia	Industria energo-intensiva
	Hasanbeigi et al. (2010)	Tailandia	Textil y cementos
Evaluación y valoración	Sorrell et al. (2004)	Varios países europeos	Educación e industrial
	Nagesha y Balachandra (2006)	India	Fundición y cementos
	Arroyo Curras (2010)	Holanda	Petroquímica
Estadístico / económico	Velthuisen (1993)	Holanda	Industrial
	de Groot et al., 2001	Holanda	Industrial
	Sardianou, 2008	Grecia	Industrial
	Schleich y Gruber (2008)	Alemania	Comercial y servicios
	Schleich (2009)	Alemania	Comercial y servicios
	IEA (2007)	Australia, Estados Unidos, Holanda, Japón y Noruega	Economía en su conjunto

Fuente: elaboración propia.

6 La actitud en la búsqueda de una mayor eficiencia y su capacidad para seleccionar alternativas.

2. Contexto internacional

La revisión internacional mostró tres tipos diferentes de enfoques en los trabajos empíricos de valoración o cuantificación de barreras a nivel empresarial y sectorial (Tabla 1): i) aplicación de cuestionarios semiestructurados; ii) metodologías de evaluación y valoración; y iii) estimación de impactos.

II. Contexto para el análisis de las barreras a la eficiencia energética

A. Contexto legal

La eficiencia energética encuentra fundamento en la Ley 697 de 2001, que circunscribe el Uso Racional y Eficiente de Energía (URE) como un tema de interés nacional. Esta Ley fue reglamentada dos años después mediante Decreto 3683. Allí se fijan objetivos concretos, lineamientos, actividades, responsables y programas específicos⁷. El tema URE se ha recogido en los planes energéticos nacionales 2006-2025 (Minminas, 2007), así como en otros planes específicos como la Consultoría para la Formulación Estratégica del Plan de Uso Racional de Energía y de Fuentes no Convencionales de Energía 2007-2025 (Consortio Bariloche, 2007), y la Consultoría para la recopilación de información, definición de lineamientos y prioridades como apoyo a la formulación del Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás Formas de Energía no Convencionales (PROURE) (Prías, 2010). Recientemente se adoptó el Plan de Acción Indicativo para desarrollar el PROURE donde se definen objetivos, recursos financieros y subprogramas para el periodo 2010-2015 (Minminas, 2010). De acuerdo con lo planteado en la reglamentación, planes de contexto general y específico, las estrategias apuntan al Estado y sus instituciones como ejes articuladores de la política URE en los aspectos de regulación y planificación, y a que el sector privado se embarque en la financiación de los programas con mayor potencial de ahorro energético.

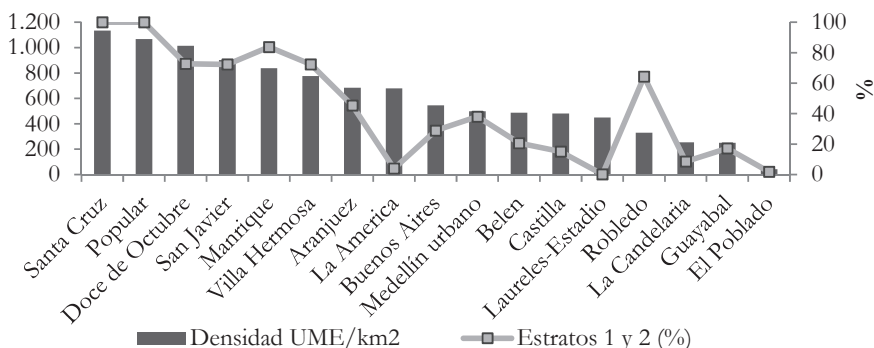
7 Distintas resoluciones y decretos posteriores legitiman, promueven y dictan medidas para viabilizar el URE: Resolución 180609/2006, Decreto 2501/2007, Decreto 2688/2008, Decreto 3450/2008, Resolución 181294/2008, Resolución 180540/2010 y Resolución 180919/2010.

B. Área de estudio y unidades de análisis: un panorama general

Como se adujo anteriormente, el espacio geográfico de análisis de este estudio se centra en cinco barrios: Popular 1 y 2, Santo Domingo Savio 1 en la comuna Popular, y Doce de Octubre 2 y Picachito en la Comuna Doce de Octubre. El Gráfico 1 muestra la densidad de hogares y participación del estrato 1 y 2 por comunas. Los datos disponibles permiten verificar que en el año 2010 las comunas Popular y Doce de Octubre presentaron una densidad de negocios embebidos en la vivienda de 1.067 y 1.014 unidades por km², respectivamente. Por su parte, en la primera de estas comunas la participación de estratos uno y dos fue del 100% (35,0% estrato uno y 65,0% estrato dos), en tanto que en la segunda dicha participación fue del 72,7% (14,4% y 58,3%, respectivamente).

Los datos energéticos disponibles a nivel de comuna y barrio que pueden caracterizar el uso eficiente de energía, son el porcentaje de conexiones a redes eléctricas y de gas, y el tipo de combustible usado en la cocción de alimentos en el hogar. La Tabla 2 muestra que la cobertura del servicio de electricidad es casi universal, y existe una gran asimetría en el uso del gas natural para cocción entre los barrios de la comuna Popular y Doce de Octubre. Se puede observar que en los barrios localizados en las partes más altas de la ciudad, que por lo general corresponden a zonas de invasión, la presencia del gas natural es prácticamente nula.

Gráfico 1. *Densidad de hogares con tenencia de negocios y predominancia de estratos 1 y 2 en las comunas de Medellín, 2010*



Fuente: elaboración propia con base en Alcaldía de Medellín (2011).

Tabla 2. Algunos indicadores energéticos de los barrios y comunas bajo estudio

Territorio	Con conexiones a redes (% viviendas)		Combustible utilizado para cocinar (% hogares)						
	Eléctricas	Gas	No cocinan	Leña, carbón de leña, material de desechos	Carbón mineral	Kerosene, petróleo, gasolina, cocinol	Gas en cilindro o pipeta	Gas con conexión por tubería	Electricidad
Populares	99,79	5,87	1,40	0,71	0,02	0,56	38,41	5,39	53,51
Santo Domingo Savio 1	99,34	1,01	1,24	1,65	0,07	1,14	41,39	0,56	53,95
Comuna Popular	99,47	3,08	1,29	1,35	0,05	0,90	39,38	2,59	54,44
Doce de Octubre 2	99,87	38,42	1,06	0,28	-	0,34	25,19	36,09	37,03
Picachito	99,49	5,44	0,77	2,51	0,05	0,16	40,55	5,03	50,93
Comuna Doce de Octubre	99,81	27,45	1,06	0,42	0,01	0,35	31,78	26,14	40,23

Fuente: Alcaldía de Medellín (2011).

III. Estructura metodológica

A. Métodos de recolección de información

Se contó con las percepciones emitidas por quince microempresarios que hicieron parte activa de un proyecto de investigación en la temática y contaron con un proceso de capacitación en diferentes temas de energía. Para obtener las valoraciones individuales se optó por la utilización de un cuestionario. Tres razones sustentan esta elección: es mucho más rápido lograr consenso, cada uno de los microempresarios tiene igual voz dentro del grupo, y el efecto promedio de las valoraciones por lo general mitiga los problemas de inconsistencia (Schmoldt y Peterson, 1997). Las valoraciones obtenidas consideran las barreras a las medidas de eficiencia energética en un sentido amplio y general, sin detenerse en medidas concretas.

B. Modelo AHP

El método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) es una herramienta que permite orientar la toma de decisiones mediante asignación de valoraciones a un fenómeno de estudio de acuerdo con una regla de elección (Saaty, 1994). Estas valoraciones se realizan mediante comparaciones pareadas discretas y continuas entre dos alternativas, donde se pueden establecer medidas reales o crear una escala fundamental que refleja la fuerza relativa de las preferencias y sentimientos. Su representación considera unos factores, que una vez seleccionados, se organizan en una estructura jerárquica que desciende desde un objetivo general a unos criterios y alternativas en niveles sucesivos, de forma tal que se pueda estimar la importancia relativa de cada una de las alternativas en el objetivo general de la jerarquía (Saaty, 1994).

Matemáticamente la valoración de los juicios de valor parte de un conjunto de ponderadores asociados a las alternativas para jerarquizar la información resultante (Saaty, 1994). Se asume que hay n alternativas diferentes e independientes (A_1, \dots, A_n), con n ponderadores (W_1, \dots, W_n). Así, la valoración de las alternativas pareadas (A_i, A_j) se representa en una matriz de orden n , positiva, recíproca y con diagonal unitaria:

$$A = [a_{ij}], \text{ con } a_{ij} = W_i / W_j \text{ (} i, j = 1, \dots, n \text{), y } a_{ii} = 1, \text{ (} i = 1, \dots, n \text{)}.$$

$$\text{Si } a_{ij} = \alpha, \alpha \neq 0, \text{ entonces } a_{ji} = 1 / \alpha.$$

$$\text{Si } A_i \text{ tiene una valoración mayor que } A_j, \text{ se sigue que } W_i / W_j > 1.$$

Saaty (1994) demuestra que la matriz de ponderaciones $A = W_i / W_j$ es consistente, si y solo si n resuelve el sistema de ecuaciones lineales $AW = \lambda W$. En otras palabras, λ es el valor propio de A . Una vez hallada la solución por este método: $AW = \lambda_{max} W$, Saaty (1994) plantea una forma de corroborar la bondad de ajuste de las valoraciones mediante un índice de compatibilidad (IC): $IC = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$, y una tasa de consistencia (TC): $TC = IC / LA$, donde LA es un índice aleatoriedad que depende del tamaño n (Tabla 3). Este último indicador nos dice como una matriz dada se compara con una matriz puramente aleatoria en términos de su IC. Se aduce que para valores

superiores a 0,1 (10%) se requiere revisión de los juicios de valor por parte del tomador de decisiones, debido a que varias de las valoraciones contienen irracionalidad (no transitividad) entre alternativas pareadas.

Tabla 3. *Tamaños de matrices e índice de aleatoriedad*

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IA	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fuente: Saaty (1994).

Todo este soporte matemático se encuentra sustentado en una escala de valoración compuesta por tres elementos: un conjunto de objetos, un conjunto de números y un mapeo de los objetos hacia los números (Saaty, 1994). La Tabla 4 presenta la escala de valoración que usa la metodología empleada.

Tabla 4. *Escala fundamental de valoración usada en el método AHP*

Intensidad	Definición	Explicación
1	Importancia igual	Las dos actividades constituyen igualmente al objetivo
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre otra
5	Importancia esencial o fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre otra
7	Importancia muy fuerte	Una actividad es fuertemente favorecida y su dominancia es demostrada en la práctica
9	Importancia extrema	La evidencia en favor de una actividad sobre otra presenta el mayor orden posible de afirmación
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre los dos juicios adyacentes	Cuando el compromiso es necesario

Fuente: Saaty (1994).

C. Aplicación del método AHP para valorar las barreras en microempresas

1. Modelando el problema de las barreras como una jerarquía

Se planteó una estructura jerárquica descendente desde un objetivo general a los criterios, y de ahí a las barreras y sub-barreras en niveles sucesivos. La estructura se puede ver en la Ilustración 2.

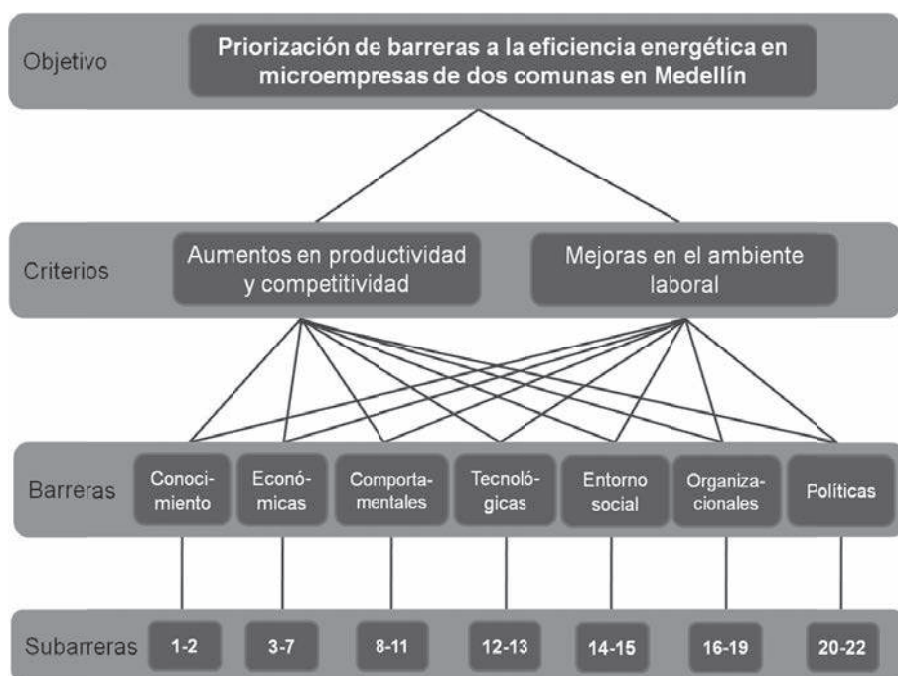
Objetivo: priorizar barreras a la eficiencia energética en microempresas de dos comunas en Medellín.

Criterios: *i)* mejora en la productividad y competitividad de las microempresas (ahorros en tiempos, reducción del valor facturado y eficiencia en los procesos); *ii)* mejoras en el ambiente laboral (impactos en las condiciones de salubridad y seguridad).

Barreras: *1)* falta de conocimiento e información del empresario; *2)* falta de vendedores capacitados; *3)* ausencia de mecanismos o dificultad para acceder a financiación; *4)* restricción presupuestaria; *5)* relaciones principal-agente; *6)* altos costos de inversión iniciales; *7)* heterogeneidad tecnológica; *8)* falta de interés por la eficiencia energética; *9)* racionalidad limitada; *10)* aspectos culturales y de comportamiento (cultura del descuido); *11)* utilización de fuentes de energía que son de acceso 'fácil acceso' (contrabandos de energía, quema inadecuada de madera, etc.); *12)* falta de disponibilidad local de equipos energéticos de alta eficiencia o con un desempeño superior a los actuales, o si existen no existe confianza sobre su desempeño; *13)* riesgos técnicos (existen instalaciones eléctricas, a gas o cualquier otra fuente que son peligrosas); *14)* la situación de inseguridad y violencia generalizada en la ciudad; *15)* aceptación social y participación local; *16)* incertidumbre sobre las perspectivas futuras de la microempresa; *17)* la energía no es un tema prioritario para invertir; *18)* costos ocultos; *19)* falta de personal capacitado (propietarios y trabajadores); *20)* débil o inadecuada regulación nacional en el tema de eficiencia energética; *21)* falta de reglamentación en cuanto al etiquetado de eficiencia energética para equipos y electrodomésticos; y *22)* ausencia de políticas que incentiven el uso eficiente de la energía.

Las barreras se agruparon⁸ para que los microempresarios determinaran que tipología tiene mayor incidencia, y así validar y hacer congruir los diversos juicios de valor en una única ordenación.

Ilustración 2. Esquema de aplicación de la metodología AHP para priorizar las barreras a la eficiencia energética



Fuente: elaboración propia.

8 Weber (1997, p.834) plantea que no existe una tipología de barreras como tal, y que empíricamente las barreras no pueden ser clasificadas, ya que estas son invisibles, si bien son reales y no observables. No obstante, la agrupación es necesaria dado que esta se encuentra justificada teóricamente, y además con el fin de derivar propuestas de soluciones, es más práctico encajar propuestas de acuerdo con un campo de dominio específico.

2. Inconsistencia aleatoria

El tema de la consistencia es recurrente en la literatura del AHP dada la dificultad de alcanzarla conforme el número de comparaciones se incrementa (Bozóki y Lewis, 2005)⁹. En nuestro caso, posterior a la recolección de la información, se ingresaron las valoraciones en las plantillas programadas en Microsoft Excel y se obtuvieron las soluciones individuales para cada sistema matricial, donde las pruebas de bondad de ajuste arrojaron tasas de consistencia (TC) muy superiores al umbral de comparación establecido (10%). Luego, se requirió revisar las valoraciones para reducir la inconsistencia. Para ello, se construyeron matrices de perturbaciones para aquellas matrices inconsistentes (Saaty, 2003), y así lograr una transformación matemática que generara una consistencia adecuada.

3. Agregación de preferencias

El ejercicio de valoración de barreras implicó agregar las preferencias individuales para obtener una representación social de los distintos juicios. En el contexto del AHP, Forman y Peniwati (1998), utilizan dos caminos para alcanzar consenso a partir de las valoraciones individuales¹⁰: i) agregación de los juicios individuales (AJI); y ii) agregación de las prioridades individuales (API). La elección depende del tipo de comportamiento que se asuma para el grupo: si este es homogéneo es apropiado usar AJI, o si son como individuos separados es apropiado usar API. Teniendo este contexto en mente, se optó por la agregación de las prioridades individuales de los microempresarios

9 En ejemplos reales de aplicación de la metodología AHP, a medida que aumenta el número de comparaciones a realizar, el número de matrices consistentes se reduce dramáticamente. Esta situación la presentan Bozóki y Lewis (2005):

<i>n</i>	3	4	5	6	7	8	9	10
Número de matrices con TC < 10%	2,08E10	3,16E5	2,41E4	787	14	0	0	0

10 Estos caminos se refieren a procedimientos matemáticos aplicables una vez se dispone de la información de las valoraciones. Sin embargo, aunque desde la teoría de la elección social existen diversos planteamientos para alcanzar esa función social, muchas veces la aplicación real para la lograr un consenso social puede llegar a soluciones como la planteada en el teorema de la imposibilidad de Arrow.

dada la heterogeneidad de agentes, la cual no solo está presente en la muestra analizada, sino en general en el universo microempresarial de la ciudad.

Tras esto, resta definir que método de agregación emplear: la media geométrica o la media aritmética ponderada (Aczél y Saaty, 1983). Se usó esta última (igual peso individual), ya que, por un lado la dispersión presente en los datos sugería descartar la media geométrica, y por otro lado, la media geométrica no captura el efecto de la transitividad o dominancia en el caso de juicios inconsistentes, lo cual puede conducir a prioridades equivocadas (Saaty et al., 2009).

IV. Principales hallazgos y discusión general

A. Resultados

Tal como lo plantean Rohdin y Thollander (2005), a la hora de cuantificar barreras, soluciones y fuentes de información, es necesario realizar simplificaciones. Así, la cuantificación de los resultados contienen diferentes perspectivas de una problemática dada (las barreras), más allá de un simple número que expresa una localización en un conjunto de información. Esta situación debe quedar evidenciada en la discusión, ya que las valoraciones realizadas están sujetas a cierto grado de incertidumbre.

La Tabla 5 sintetiza las barreras agrupadas y muestra que para ambos criterios como referente de valoración, los factores de tipo económico y financiero (24,7%) son los que más peso tienen. No obstante, destacan algunas diferencias según el criterio contra el cuál se está comparando. Si se realiza frente a ganancias en competitividad y productividad, las otras barreras más importantes son las políticas e institucionales (18%) y las técnicas y tecnológicas (13,8%). Ahora, si el referente es el ambiente laboral, pesan más aquellos obstáculos comportamentales (18,3%) y de conocimiento e información (15,3%).

El hecho de que las barreras económicas y financieras aparezcan en el lugar más alto de la jerarquía se explica por la restricción de capital con que cuentan los microempresarios. Las unidades de estudio se encuentran locali-

zadas en zonas con predominancia de estrato 1 y 2, sus ventas son bastante volátiles y en ocasiones dependen de temporadas (caso confecciones), y la gran mayoría para iniciar o capitalizar sus negocios han recurrido a créditos otorgados por el Banco de las Oportunidades y Microempresas de Antioquia. Al igual que en Nagesha y Balachandra (2006), la falta de capacidad de inversión, el tamaño pequeño, los bajos y volátiles volúmenes de producción, y la facilidad de acceso a fuentes energéticas (caso madera o en el caso de la electricidad el acceso a subsidios aplicados al sector residencial), explican esta importancia y la razón porque los microempresarios no invierten en mejores tecnologías.

Tabla 5. *Vectores de prioridades de barreras respecto a los criterios de comparación*

Barrera	Competitividad y productividad	Ambiente laboral	Prioridad global	Orden
Conocimiento e información	0,102	0,153	0,111	7
Económicas y financieras	0,235	0,296	0,247	1
Comportamentales	0,096	0,183	0,112	6
Técnicas y tecnológicas	0,138	0,113	0,133	3
Entorno social	0,117	0,097	0,113	5
Organizacionales	0,132	0,059	0,118	4
Políticas e institucionales	0,180	0,099	0,165	2

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 6 muestra la ordenación para las 22 barreras específicas consideradas (últimas dos columnas). Se puede ver que los principales obstáculos de mayor a incidencia son: ausencia de instrumentos o medidas que incentiven el uso eficiente de energía (0,078), altos costos iniciales de inversiones en tecnologías eficientes (0,076), falta de conocimiento e información por parte del empresario (0,068), falta de disponibilidad de equipos eficientes (0,068), presencia de instalaciones inseguras –riesgos técnicos– (0,066), falta una mayor participación local por visibilizar el tema de la energía (0,065), y dificultad para acceder al crédito (0,059).

Tabla 6. *Vector global de prioridades para las barreras en microempresas*

Crterios	Pesos locales	Barreras	Pesos globales	Orden	Sub-barreras	Pesos locales	Pesos globales	Orden
Competitividad y productividad	0,814	Conocimiento e informacin	0,111	7	Falta conocimiento e informacin empresario	0,610	0,068	3
					Falta de vendedores capacitados	0,390	0,043	11
Seguridad y salubridad	0,186	Econmicas y financieras	0,247	1	Dificultad para acceder a financiacin	0,238	0,059	7
					Restriccin presupuestaria	0,184	0,045	10
					Incentivos divididos	0,148	0,037	15
					Costos de inversin altos	0,306	0,076	2
					Heterogeneidad tecnolgica	0,123	0,030	17
					Falta de interis	0,224	0,025	19
					Racionalidad limitada	0,361	0,041	13
		Comportamentales	0,112	6	Cultura de descuido	0,249	0,028	18
					'Fcil acceso' a fuentes energticas	0,167	0,019	21
					Falta disponibilidad equipos eficientes	0,508	0,068	4
		Tcnicas y tecnolgicas	0,133	3	Riesgos tcnicos	0,492	0,066	5
					Seguridad y violencia en la ciudad	0,429	0,049	8
		Entorno social	0,113	5	Aceptacin social y participacin local	0,571	0,065	6
					Incertidumbre futura	0,350	0,041	12
Organizacionales	0,118	4	Otras prioridades de inversin	0,150	0,018	22		
			Costos ocultos	0,288	0,034	16		
			Falta personal capacitado	0,212	0,025	20		
Políticas e institucionales	0,165	2	Débil regulacin nacional	0,284	0,047	9		
			No existe etiquetado	0,243	0,040	14		
			Ausencia de medidas incentivadoras	0,473	0,078	1		

Fuente: elaboracin propia.

Estos resultados son similares a los encontrados en barreras a la implementación de medidas de producción limpia en pymes chinas¹¹ (Shi et al., 2008, p. 847), donde las principales barreras son externas a las firmas, por ejemplo: ausencia de políticas económicas incentivadoras, laxa aplicación de las normas ambientales, altos costos iniciales de inversión, pobres resultados financieros, y dificultad para acceder al crédito. En este sentido, y siguiendo el planteamiento de los autores, las medidas correctivas para fomentar el uso de medidas de eficiencia energética en microempresas deberían enfocarse en fortalecer la política URE, mejorar las condiciones de mercado, y establecer programas de asistencia técnica.

B. Discusión general

Algunas de las barreras del lado de la demanda identificadas dos décadas atrás aún persisten. Como se mostró para las microempresas, las principales fueron la ausencia de incentivos, los altos costos de inversión y la ausencia de información. Estos resultados van en la línea del trabajo del Banco Mundial y Esmap (1992), donde señalaban para estos obstáculos que: i) las barreras institucionales y regulatorias juegan un papel importante en el sector de la energía, ya que existen limitaciones al acceso al crédito por parte de los consumidores, lo cual resulta en un desincentivo a la demanda; ii) los costos iniciales de inversión afectan tanto las decisiones de consumo como de producción; iii) los problemas de información sobre uso de tecnologías eficientes, sus potenciales de ahorro energético y sus costos asociados, y además el tipo de información disponible en las tiendas distribuidoras no brinda los elementos necesarios para evaluar los beneficios y costos derivados de equipos eficientes.

Estas consideraciones plantean grandes retos para los hacedores de política. Tal como argumentan Sanstad y Howarth (1994), las limitaciones en la racionalidad del consumidor no desaparecen simplemente con establecer po-

11 Guardando las proporciones con Shi et al. (2008), según número de empleados una empresa en China se considera como pyme cuando tiene menos de 2.000 trabajadores. Sin embargo, su diagnóstico general presenta similitudes con las mipymes colombianas: equipos y tecnologías obsoletas, trabajadores sin formación y sin experiencia e insuficientes recursos financieros.

líticas específicas. De hecho, estas podrían minar esfuerzos en la solución de las imperfecciones observadas en los mercados energéticos y de utilización de tecnologías. Bajo este enfoque de análisis salta a relucir una diferencia importante entre las políticas dirigidas directamente a la mejora de la tecnología (normas de funcionamiento de equipos), y aquellas que dependen de la forma en cómo se hacen visibles las bondades de la eficiencia energética (gestión de la demanda).

En la misma línea de argumentación, Johnston y Bowie (1994, p.12), señalan que desde la perspectiva de la política pública, la eficiencia energética debe ser asumida como un problema de coordinación en lugar de ser vista meramente como un sistema optimizado. Este rasgo distintivo implica reconocer las instituciones en la estructuración de las transacciones, lo cual conlleva a un cambio desde la competencia y la maximización de la utilidad hacia formas de coordinación y estructuración de incentivos. En palabras de Henniecke et al. (1998), estrategias como el marketing socioeconómico y los instrumentos mixtos fortalecen la demanda por servicios energéticos estimulando el aprendizaje social, la comunicación y la cooperación entre los distintos actores del mercado energético. Además, si desde la oferta se proponen soluciones y las empresas prestadoras de servicios energéticos logran transitar desde un modelo de oferta puro de energía hacia un modelo de provisión de servicios integrados de energía, puede encausarse hacia una adecuada transformación del mercado por servicios energéticos.

Las situaciones expuestas sustentan el hecho de que la ausencia de incentivos y los altos costos iniciales de inversión figuren como los principales impedimentos. Esto implica que sin el desarrollo de esquemas y estímulos donde se creen canales financieros específicos y donde el microcrédito aparezca como una de las formas de financiamiento de adquisición o reconversión de tecnologías eficientes, es poco probable que medidas de eficiencia energética sean internalizadas, y por ende adoptadas por los microempresarios. Es clave que en el desarrollo este tipo de instrumentos, el diseño de incentivos involucre amplios plazos de amortización, bajas tasas de interés, así como incentivos generados desde las empresas prestadoras de servicios públicos para hacer un mejor uso de la energía.

Hay que hacer notar que la elección racional de un consumidor debería ser aquella con el menor costo en el ciclo de vida completo de un producto, donde costos y beneficios se descuentan a la tasa de interés que impera en el mercado. Sanstad y Howarth (1994, p.815) arguyen que en la práctica las imperfecciones en los mercados de capitales son una característica común de la realidad económica e inciden en la materialización de inversiones en eficiencia energética. Sin embargo, esta elección no es la más común. La existencia de distorsiones tarifarias genera que los costos iniciales sean el principal elemento de decisión, y en estratos bajos está es la selección que prima, al elegir aparatos de bajo costo que usualmente son menos eficientes (Banco Mundial y Esmap, 1992). En términos económicos y financieros cuando los precios de la energía no reflejan los costos reales de la energía (sin subsidios o externalidades), entonces los consumidores necesariamente subestimarán inversiones en eficiencia energética (Worrell et al., 2001, p.34).

Por otro lado, de acuerdo con lo expresado por Stern y Aronson (1984, p.1), es imposible hacer que una política energética sea eficaz, sin entender la persistencia que tiene el entorno social sobre la naturaleza de la energía y los factores no económicos que influyen en su uso. Así, se subraya la importancia que tiene observar los problemas de la energía y sus soluciones en términos de sistemas sociales y no como causas individuales en el diseño de sistemas energéticos para ser adaptados como una alternativa a una planificación detallada, y en cuyo tratamiento las políticas energéticas y los programas se conviertan en experimentos sociales. Es en este escenario donde la información cobra relevancia, no solo en el aspecto de la difusión, sino también en el contexto social en donde se ubicará la eficiencia energética. Bajo esta óptica, Cooremans (2007) plantea la existencia de una ‘cultura de hadas de la energía’¹², y aduce que cuando las personas sienten que no tienen control sobre un problema, es más probable que decidan no llevar a cabo ninguna acción. Luego, ejemplifica la autora, inconscientemente la gente la concibe la energía como de fácil disponibilidad, libre como el aire que respiramos, que se puede consumir ilimitadamente, y que

12 Este concepto lo usa para ejemplificar la hipótesis general e inconsciente de que la energía proviene de una fuente desconocida, casi mágica, y puede ser consumida como cualquier producto ilimitadamente.

esta fuera del control de consumidores y productores¹³. En este punto, el hecho de que la energía, en particular la eléctrica, sea 'invisible' al ojo humano, es decir, que no se pueda ver cuando se está desperdiciando (como en el caso del agua); y el fácil acceso y la quema indiscriminada de algunos combustibles (madera)¹⁴, plantean la necesidad de contextualizar y enfocar las campañas informativas y educativas para en primera instancia visibilizar el problema, y después lograr que sea internalizado por los microempresarios¹⁵.

Por ello, la difusión de información es sumamente importante para minimizar el impacto que tienen la falta de conocimiento e información en la toma de decisiones. Ahora, el problema es cómo lograr una difusión adecuada, en el sentido que solamente contar con acceso a la información no resuelve el problema, pues simplemente por saber que existen medidas o tecnologías más eficientes desde un punto de vista energético, no garantiza que estas sean adoptadas, cuando existe información técnica que difícilmente va ser asimilada por los microempresarios. Así, las soluciones pueden provenir de aquellas instituciones encargadas del fomento empresarial, caso Cedezos, Microempresas de Antioquia, Interactuar, etc., instituciones que enriquecerían su portafolio de servicios para articular la eficiencia energética como un complemento a las áreas de actuación administrativa, contable, financiera, legal y técnica (CECIM et al., 2011). De esta forma, podrían actuar como canalizadores y difusores para que un público no entendido logré, en primer lugar, concientizar e internalizar la importancia que tiene la eficiencia ener-

13 Si bien las barreras comportamentales no tuvieron una alta valoración de los microempresarios, incluidas las sub-barreras 'cultura del descuido' y 'fácil acceso a fuentes energéticas', es evidente que son obstáculos arraigados en la población del país que hace necesario una mayor profundización investigativa desde las ciencias sociales.

14 El caso de algunas microempresas en la fabricación de productos alimenticios, como arepas.

15 Howarth y Andersson (1993) plantean que transmitir información acerca de usos de equipos, condiciones de operación, patrones de consumo, y precios de la energía, requieren de supuestos que hacen difícil que un agente económico entienda estos datos. Por ello, la difusión de este tipo de información es costosa, y sin la adopción de supuestos estandarizados entre los competidores, las comparaciones de productos carecerían de valor. En este escenario, las empresas pueden ser incapaces de mercadear tecnologías energéticamente eficientes debido a problemas de agencia.

gética en un proceso productivo dado, y tras esto, mediando un diagnóstico (vía auditorías), lograr una mayor confianza, aceptación y viabilización de la solución requerida para la unidad productiva. Si bien se parte de un enfoque desde la demanda, exige respuestas o soluciones desde la oferta en los temas de asistencia técnica y entrenamiento en tecnologías eficientes, comercialización de tecnologías e incentivos financieros.

En relación con la sensación de que exista una poca oferta o disponibilidad de equipos eficientes, llama la atención en las primeras posiciones. No obstante, una explicación plausible que resalta es la falta de incentivos y reglamentación para que desde la producción de equipos se incremente la calidad del producto final, es decir, que se incluyan características que permitan un funcionamiento óptimo con un menor consumo energético.

Finalmente, en el tema técnico, problemáticas como la presencia de instalaciones, tanto eléctricas como térmicas en precarias condiciones, ponen en riesgo latente la vida de las personas que laboran en las microempresas. A diferencia de los estudios internacionales referenciados, donde las instalaciones o equipos eran los adecuados y las posibilidades de mejora eran limitadas, en el contexto local se puede considerar que esos riesgos técnicos corresponden a una barrera de tipo estructural, ya que no importa si se cambian de hábitos o se invierten en mejores equipamientos, si internamente en cualquier momento el sistema de redes puede colapsar. Luego, este tipo de condiciones en muchos casos implica el rediseño estructural de la edificación o intervenciones internas que pueden ser complejas de realizar y que además pueden ser altamente costosas. En este sentido, en el futuro se puede pensar en el establecimiento de ciudadelas o parques empresariales que cumplan con los reglamentos técnicos de instalaciones e iluminación, como una medida estructural para evitar que en el surgimiento espontáneo de microempresas se implementen instalaciones hechas que no cumplen con la normatividad y comprometen el entorno laboral donde se desarrolla la actividad productiva.

Conclusiones

La evidencia empírica recogida en este trabajo brinda elementos de análisis para nutrir el diseño de programas de gestión energética a nivel de hogares

y microempresas para que tengan una mayor probabilidad de éxito. Desde el punto de vista del usuario final, se puede concluir que no existe una única barrera que sea la causa principal de la afectación de la toma de decisiones energéticas. Más bien, se puede hablar de impacto multivariado e interrelacionado de factores como la razón principal que limita el comportamiento racional de los microempresarios. Así, la ausencia de incentivos, los altos costos iniciales de inversión, la falta de conocimiento e información del empresario, la falta de disponibilidad de equipos eficientes y los riesgos técnicos, fueron identificados como los principales obstáculos para que las medidas de eficiencia energética no sean adoptadas en el contexto de microempresas ubicadas en zonas de bajos ingresos. La presencia de este tipo de barreras sugiere la necesidad de la participación de la administración local y nacional en el diseño de programas que consideren el caso particular de la microempresa.

Del análisis realizado se puede concluir que no existe una solución estándar para minimizar los obstáculos a la eficiencia energética. En el proceso de difusión y adaptación de medidas que ayuden a lograr un uso eficiente de la energía no solo convergen las decisiones individuales de los microempresarios, sino que deben intervenir e interactuar diverso tipo de actores. El análisis de marras y sus resultados son valiosos de cara a propuestas de soluciones (por ejemplo, el PROURE en el ámbito nacional o programas específicos en el ámbito local), razón por la que puede ser utilizado para direccionar el enfoque y las medidas aplicables en contextos de microempresas ubicadas en estratos bajos.

Si bien existen alternativas para superar las barreras identificadas en el caso estudiado, más allá de ello, es necesario que la concientización sobre la importancia de la eficiencia energética no ocurra de manera espontánea, ya que solo un porcentaje pequeño de firmas interiorizarían estos temas. En este sentido, una solución específica puede exhibir resultados en una temporalidad determinada, pero la realización de medidas de eficiencia energética no necesariamente van a ser efectuadas por los agentes económicos. Esto significa que lo realmente importante para fortalecer la toma de decisiones a nivel local y nacional, es la necesidad constante de monitorear, evaluar y actualizar los patrones de consumo cambiantes de los consumidores, de cara a lograr una retroalimentación permanente que produzcan cambios sustentables en el tiempo.

Bibliografía

- ACZÉL, Janos & SAATY, Thomas (1983). "Procedures for Synthesizing Ratio Judgements", *Journal of Mathematical Psychology*, Vol. 27, No. 1, 93-102.
- ALCALDÍA DE MEDELLÍN (2011). *Indicadores y Estadísticas*, Departamento Administrativo de Planeación, Medellín.
- ARROYO, Tabaré (2010). *Barriers to Investment in Energy Saving Technologies: Case Study for the Energy Intensive Chemical Industry in the Netherlands*, Universiteit Utrecht.
- BANCO MUNDIAL & ESMAP (1992). *Estudio de eficiencia energética de los sectores residencial, comercial y oficial*. Ministerio de Minas y Energía, Comisión de Regulación de Energía y Gas, Bogotá, pp. 228.
- BOZÓKI, Sandor & LEWIS, Robert (2005). "Solving the Least Squares Method Problem in the AHP for 3×3 and 4×4 Matrices". *Central European Journal of Operations Research*, Vol. 13, No. 3, pp. 255-270.
- CAEM: CORPORACIÓN AMBIENTAL EMPRESARIAL (2012). *Programa OPEN: Promoción de Oportunidades de Mercado para Energías Limpias y Eficiencia Energética*, BID-CCB-CAEM, Bogotá.
- CARLSMITH, Roger; McMAHON, James; CHANDLER, William & SANTINI, Danilo (1990). "Energy Efficiency: How Far Can We Go?", *Energy Conversion Engineering Conference, IECEC-90*.
- CECIM, GITER, GIMEL & GASURE (2011). *Uso racional y eficiente de energía en unidades microempresariales de Medellín (Proyecto terminado)*. Centro de Investigación e Innovación en Energía, Instituto Tecnológico Metropolitano, Universidad de Antioquia, Empresas Públicas de Medellín.
- COOREMANS, Catherine (2007). *Strategic fit of Energy Efficiency (Strategic and Cultural Dimensions of Energy-Efficiency Investments)*, ECEEE

Summer Study 2007. Saving energy – just do it! Panel 1: The Foundations of a Future Energy Policy, La Colle sur Loup.

CIF: CENTRO INTERNACIONAL DE FÍSICA y EEC: EMPRESA DE ENERGÍA DE CUNDINAMARCA (2008). *Uso Racional y Eficiente de la Energía en las Mipymes de la Región del Alto Magdalena: Guía de apoyo al empresario.* EEC-ESP, Bogotá.

CHEJNE, F., ROJAS, J., BOTERO, S., HILL, A., FIGUEROA, E., BOTERO, E., PÉREZ, J., CARDONA, N. y RAMOS, E. (2000). “Rational Use of Energy in the Industrial Sector Served by the Medellín Public Utility, Colombia”, *Energy Engineering*, Vol. 97, No. 5, pp. 39-48.

COSENIT: CORPORACIÓN SOLUCIONES ENERGÉTICAS INTEGRALES (2005). *Estrategia de uso racional de energía en el sector industrial colombiano*, Unidad de Planeación Minero Energética, Bogotá.

DE GROOT, Henri; VERHOEF, Erik & NIJKAMP, Peter (2001). “Energy Saving by Firms: Decision-Making, Barriers and Policies”, *Energy Economics*, Vol. 23, No. 6, pp. 717-740.

DECANIO, Stephen (1993). “Barriers within Firms to Energy-Efficient Investments”, *Energy Policy*, Vol. 21, No. 9, pp. 906-914.

DENNIS, Keith (2006). “The Compatibility of Economic Theory and Proactive Energy Efficiency Policy”, *The Electricity Journal*, Vol. 19, No. 7, pp. 58-73.

DIARIO OFICIAL (2001). Ley 697 de 2001. Bogotá.

FORMAN, Ernest & PENIWATI, Kirti (1998). “Aggregating Individual Judgments and Priorities with the Analytic Hierarchy Process”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 108, No. 1, pp. 165-169.

HADDAD, Brent; HOWARTH, Richard and PATON, Bruce (1998). “Energy Efficiency and the Theory of the Firm”, *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*.

- HASANBEIGI, Ali; MENKE, Christoph & DU PONT, Peter (2010). "Barriers to Energy Efficiency Improvement and Decision-Making Behavior in Thai Industry", *Energy Efficiency*, Vol. 3, No. 1, pp. 33-52.
- HENNICKE, Peter, RAMESOHL, Stephan, OSTERTAG, Katrin, GRUBER, Edelgard & FRAHM, Thomas (1998). *Interdisciplinary Analysis of Successful Implementation of Energy Efficiency in the Industry, Service and Commerce, Final Report: Project under the JOULE Programme of the European Commission DG XIII*.
- IEA: INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2007). *Mind the Gap: Quantifying Principal-Agent Problems in Energy Efficiency*. Organisation for Economic Co-operation and Development, International Energy Agency.
- JAFFE, Adam & STAVINS, Robert (1994). "The Energy Paradox and the Diffusion of Conservation Technology", *Resource and Energy Economics*, Vol. 16, No. 2, pp. 91-122.
- KRISTRÖM, Bengt (2008). "Residential Energy Demand". In: OECD, *Household Behaviour and the Environment: Reviewing the Evidence* (pp. 95-107). París.
- MINMINAS: MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA (2005). *Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía (Documento Preliminar)*. IPSE, UPME y GENSA (Eds.). Bogotá.
- MINMINAS: MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA (2007). *Plan Energético Nacional. Contexto y Estrategias 2006-2025*. Bogotá.
- MINMINAS: MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA (2010). *Resolución Número 18-0919 de Junio 1 de 2010*. Bogotá.
- NAGESHA, N. & BALACHANDRA, Patil (2006). "Barriers to Energy Efficiency in Small Industry Clusters: Multi-Criteria-Based Prioritization Using the Analytic Hierarchy Process", *Energy*, Vol. 31, No. 12, pp. 1969-1983.
- PATTERSON, Murray (1996). "What is Energy Efficiency?: Concepts, Indicators and Methodological Issues", *Energy Policy*, 24(5), 377-390.

- POSADA, Enrique & INDISA S.A. (2002). Guía de buenas prácticas en uso racional de la energía para el sector de las pequeñas y medianas empresas. Centro Nacional de Producción Más Limpia, Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá.
- PRÍAS, Omar (2010). Informe final: Programa de uso racional y eficiente de energía y fuentes no convencionales – PROURE. Plan de Acción 2010-2015. Ministerio de Minas y Energía.
- ROHDIN, Patrik & THOLLANDER, Patrik (2005). “Barriers to and Driving Forces for Energy Efficiency in the Non-Energy Intensive Manufacturing Industry in Sweden”, *Energy*, Vol. 31, No. 12, pp. 1836-1844.
- ROHDIN, Patrik; THOLLANDER, Patrik & SOLDING, Petter (2007). “Barriers to and Drivers for Energy Efficiency in the Swedish Foundry Industry”, *Energy Policy*, Vol. 35, No. 1, pp. 672-677.
- SAATY, Thomas (1994). *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*. Vol. VI of AHP Series. RWS Publications, Pittsburgh.
- SAATY, Thomas (2003). “Decision-Making with the AHP: Why is the Principal Eigenvector Necessary”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 145, No. 1, pp. 85-91.
- SAATY, Thomas; VARGAS, Luis & WHITAKER, Rozann (2009). “Addressing with Brevity Criticisms of the Analytic Hierarchy Process”, *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, Vol. 1, No. 2.
- SANSTAD, Alan & HOWARTH, Richard (1994). “‘Normal’ Markets, Market Imperfections and Energy Efficiency”, *Energy Policy*, Vol. 22, No. 10, pp. 811-818.
- SARDIANOU, Eleni (2008). “Barriers to Industrial Energy Efficiency Investments in Greece”, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 16, pp. 1416-1423.

- SCHLEICH, Joachim (2009). "Barriers to Energy Efficiency: A Comparison Across the German Commercial and Services Sector", *Ecological Economics*, Vol. 68, No. 7, pp. 2150-2159.
- SCHLEICH, Joachim & GRUBER, Edelgard (2008). "Beyond Case Studies: Barriers to Energy Efficiency in Commerce and the Services Sector", *Energy Economics*, Vol. 30, No. 2, pp. 449-464.
- SCHMOLDT, Daniel and PETERSON, David (1997). "Using the AHP in a Workshop Setting to Elicit and Prioritize Fire Research Needs". Paper presented at the ACSM/ASPRS/RT, Seattle.
- SHAMA, Avraham (1983). "Energy Conservation in US Buildings: Solving the High Potential/Low Adoption Paradox from a Behavioural Perspective", *Energy Policy*, Vol. 11, o. 2, pp. 148-167.
- SHI, Han; PENG, Sizhen; LIU, Yu & ZHONG, Ping (2008). "Barriers to the Implementation of Cleaner Production in Chinese SMEs: Government, Industry and Expert Stakeholders' Perspectives", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 16, No. 7, pp. 842-852.
- SORRELL, Steve; O'MALLEY, Eoin; SCHLEICH, Joachim & SCOTT, Sue (2004). *The Economics of Energy Efficiency: Barriers to Cost-Effective Investment*. Cheltenham, Edward Elgar.
- TADASHI, Rui. (2003). *Barreiras ao Uso Racional de Energia em Micro, Pequenas e Médias Empresas*. Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- UNAL: DEPARTAMENTO DE FÍSICA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (2007). *Caracterización del consumo de energía final en los sectores terciario, grandes establecimientos comerciales, centros comerciales y determinación de consumos para sus respectivos equipos de uso de energía final*, Unidad de Planeación Minero-Energética, Bogotá.

- UPME: UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (2002). Evaluación del potencial y estructura del mercado de servicios de uso racional y eficiente de energía, UPME-Minminas, Bogotá.
- UPME: UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (2004). Uso Racional de la Energía en la Industria: Determinación de la eficiencia energética en varios sectores industriales. SI3EA: Sistema de Información de Eficiencia Energética y Energías Alternativas, Bogotá.
- VELTHUIJSEN, Jan. (1993). "Incentives for Investment in Energy Efficiency: an Econometric Evaluation and Policy Implications", *Environmental and Resource Economics*, Vol. 3, No. 2, pp. 153-169.
- WEBER, Lukas (1997). "Some Reflections on Barriers to the Efficient Use of Energy", *Energy Policy*, Vol. 25, No. 10, pp. 833-835.