

ISSN 1692-2611

Borradores Departamento de Economía

N°45

Marzo de 2012

Identificación y priorización de barreras a la eficiencia energética: un estudio en microempresas de Medellín

Elaborado por:

Juan Gabriel Vanegas
Sergio Botero Botero

Este trabajo presenta algunos de los principales resultados de la investigación realizada como tesis de Maestría en Economía. Además, tiene como antecedente inmediato directo la investigación titulada: Uso Racional y Eficiente de la Energía en Unidades Microempresariales de Medellín; proyecto que se desarrolló en el marco de la alianza CIIEN (Centro de Investigación e Innovación en Energía), en la que participaron cuatro grupos de investigación, dos del Instituto Tecnológico Metropolitano y dos de la Universidad de Antioquia.



FACULTAD DE CIENCIAS
ECONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE
ECONOMÍA

Medellín - Colombia

La serie Borradores Departamento de Economía está conformada por documentos de carácter provisional en los que se presentan avances de proyectos y actividades de investigación, con miras a su publicación posterior en revistas o libros nacionales e internacionales. El contenido de los Borradores es responsabilidad de los autores y no compromete a la institución.

[Click aquí para consultar todos los borradores en texto completo](#)

*Identificación y priorización de barreras a la eficiencia energética: un estudio en microempresas de Medellín**

Juan Gabriel Vanegas[†] y Sergio Botero 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. Discusión general, estrategias e implicaciones de política. – Conclusiones. –Referencias.

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 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.

* Este trabajo presenta algunos de los principales resultados de la investigación realizada como tesis de Maestría en Economía. Además, tiene como antecedente inmediato directo la investigación titulada: *Uso Racional y Eficiente de la Energía en Unidades Microempresariales de Medellín*. Este proyecto se desarrolló en el marco de la alianza CIIEN (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). Además, 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).

[†] Economista y M.Sc. en Economía Universidad de Antioquia, Docente Cátedra Instituto Tecnológico Metropolitano y Docente Ocasional Tecnológico de Antioquia. Email: juanvanegas@une.net.co

[‡] IM, M.Sc., D.Sc. George Washington University, Profesor Asociado Escuela Ingeniería de la Organización, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. Email: sbotero@unal.edu.co

Palabras claves: eficiencia energética, barreras a la inversión, microempresas, proceso de análisis jerárquico, proceso de toma de decisiones.

Abstract:

The diffusion and penetration of energy efficient measures have positive impacts on both the competitiveness and security conditions in which the 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 from 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 of the manager, the lack of availability of efficient equipment and the technical risks, are the main constraints. Some strategies to minimize its impact: information must respond to the specific context to be effective, economic instruments must account for pricing and financial incentives, and regulations must be involved in establishing standards to improve technological parameters.

Keywords: energy efficiency, barriers to investment, microenterprises, analytic hierarchy process, decision making analysis.

Clasificación JEL / JEL Classification: D61, D81, L25, C43, Q40.

Introducción

Las microempresas juegan en Medellín un papel importante en la creación de empleo, y en las dinámicas económicas y sociales de los barrios, y de la ciudad en general¹. Un aspecto importante de este tipo de empresas es que nacen espontáneamente y desarrollan su actividad productiva en simbiosis 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).

En el caso de la eficiencia energética² referida al caso microempresarial, si se considera la energía como un insumo que hace parte de la función de producción de la firma, 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, es mucho más notorio cuándo éstos elevan significativamente su consumo de energía al desarrollar diversas actividades económicas en sus hogares con el fin de autogenerarse 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 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 (Minminas, 2007). Variadas razones se aducen 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 energética y abarcan diversos campos que van desde lo institucional, lo político, lo económico, lo tecnológico, lo organizacional hasta lo cultural (Minminas, 2007)³. Si bien el tema de las barreras en este terreno no es un asunto nuevo en el país —ya desde principios de los

¹ En 2009 se encontraban registradas en Cámara de Comercio 50.073 microempresas, que representan el 88% de las empresas de la Medellín. Ahora, si quiere tener un cálculo más realista de cuánta es la población microempresarial, según los datos del Censo 2005, en la ciudad habían 91.628 unidades económicas con menos de 10 trabajadores que representaban el 94% de las empresas. La diferencia surge porque en el segundo caso tenemos un censo, en tanto que en el primero solo registros de formalización.

² 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, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normatividad, vigente sobre medio ambiente y los recursos naturales renovables” (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.

³ En los países en vías de desarrollo, y en América Latina en particular, el concepto de barreras está sumamente extendido en la explicación del poco éxito de programas de uso eficiente de energía. En el caso colombiano, específicamente, Guzmán (2009, p.37), señala que barreras de distinta índole como un marco institucional inadecuado, poca continuidad en la implementación de políticas públicas y en las políticas de precios y fiscales, tanto para la energía eléctrica como para los combustibles, aunque dichas barreras no han sido suficientemente valoradas.

noventa habían sido reconocidas (Banco Mundial y Esmap, 1992)—, su cuantificación y valoración⁴ 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.

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 en las microempresas de Medellín, 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 reducción en el valor facturado, la disminución de los costos de producción y una mayor competitividad microempresarial? 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; Bates, 1991; Reddy, 1991; Sutherland, 1991; Banco Mundial y Esmap, 1992; DeCanio, 1993; Howarth y Andersson, 1993; Sanstad y Howarth, 1994; Jaffe y Stavins, 1994a; Weber, 1997; Sathaye y Bouille, 2001; Tadashi, 2003; Sorrell et al., 2004; Rohdin y Thollander, 2005; Minminas, 2005; IEA, 2007; Rohdin et al., 2007; Minminas, 2007).

En el caso particular de este estudio, un uso eficiente de los recursos energéticos en las unidades microempresariales de Medellín, localizadas en estratos de bajos ingresos, puede resultar de alto beneficio tanto para los empresarios como para sus familias y su entorno comunitario, mejorando el nivel competitivo de las microempresas, favoreciendo su integración a cadenas productivas formales y eficientes, mejorando la calidad ambiental y la seguridad de sus procesos productivos⁵ (CECIM et al., 2011). Luego, para contribuir a explicar por qué no se han alcanzado dichos beneficios, 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 Medellín⁶, las cuales fueron objeto de un primer análisis en la investigación que sirve de base a este trabajo.

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

⁴ En el mundo académico se ha documentado ampliamente la identificación de barreras. No obstante son pocos los trabajos que van más allá del plano descriptivo y que se acerquen a la valorar o cuantificar la incidencia de las barreras.

⁵ Obviamente el insumo energético no es el único factor dentro de la función de producción de una microempresa. En este trabajo se hace alusión al factor energía, aunque en la gestión empresarial subyacen distintas áreas como administración, finanzas, contabilidad, mercadeo, formalización, etc., las cuales en cierta forma están cubiertas por diferentes instituciones de la ciudad.

⁶ 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.

presentan los principales resultados, se deriva su análisis y discusión. Finalmente 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 sociales y económicos. En su análisis se ha transitado desde conceptos como conservación, ahorro y uso racional, hacia un uso eficiente de la 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 (Patterson, 1997). Ésta 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).

Así, los ahorros por eficiencia energética ocurren cuando el stock de aparatos, automóviles, equipos industriales, y edificios son reemplazados por un stock más eficiente energéticamente o son modificados para reducir el desperdicio de energía. El nuevo stock o modificaciones devienen a través de la transformación del mercado o por medio de la intervención del gobierno y programas desde las empresas prestadoras de servicios energéticos. Los ahorros resultantes son medidos por las diferencias observables entre los niveles de demanda actuales y proyectados. Luego, los potenciales de conservación energéticos son estimados usualmente sobre la base de cambios asumidos en los patrones de uso de energía de consumidores (Moeller, 2002, p.3).

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 consumidores⁷. Esta situación da lugar a una tautología o ‘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, 1994a), 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 mercado⁸.

⁷ 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.

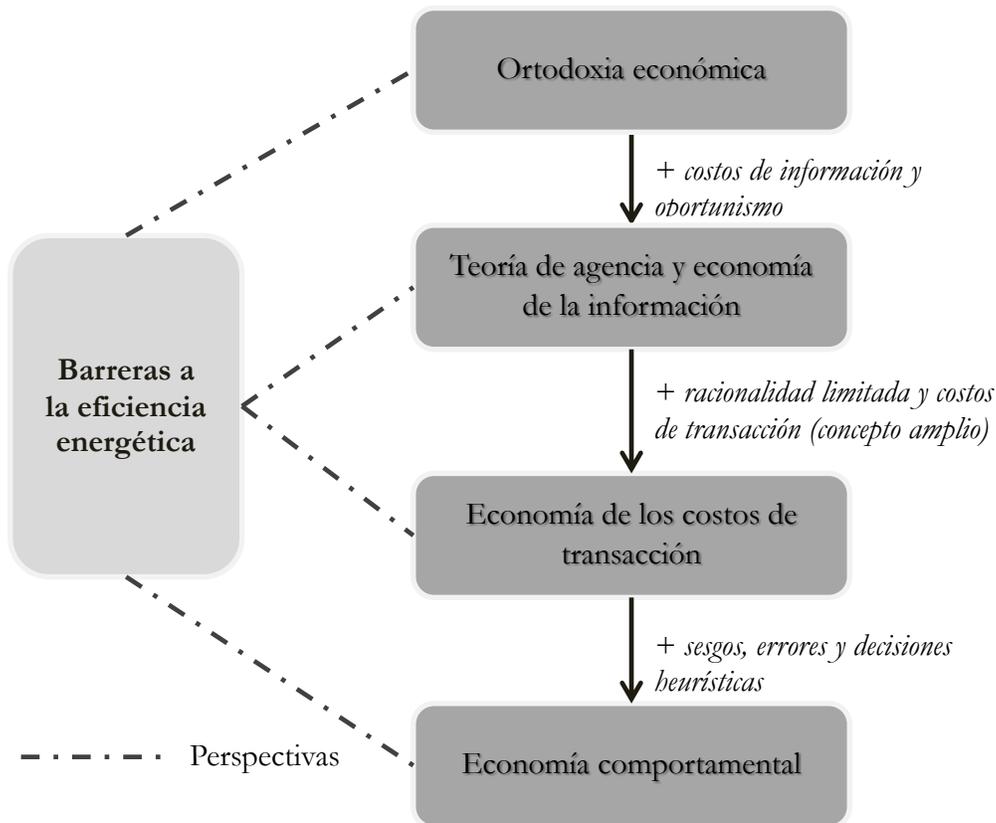
⁸ De acuerdo con el pie de página anterior y en esa misma línea de argumentación, Joskow (1994), señala que los beneficios de la eficiencia energética son sobrestimados, en tanto que los costes son subestimados, lo cual da lugar a la paradoja.

De acuerdo con Weber (1997, p.833), una barrera es un mecanismo que impide que una decisión o comportamiento desde un punto de vista técnico y económicamente eficiente pueda ser realizado. Con el fin de determinar la existencia de obstáculos, Weber (1997, p.834) plantea que deben evidenciarse tres rasgos distintivos: i) definición del obstáculo objetivo, ii) para quién es el obstáculo, y iii) qué tipo de acciones previene. El primer caso muestra la existencia de patrones de comportamiento, actitudes, preferencias, normas sociales, estándares técnicos, regulaciones, incentivos financieros, etc. La segunda característica plantea el tipo de agente que se enfrenta a los obstáculos: consumidores, arrendatarios, trabajadores, familias, firmas, etc. El último rasgo, indica que se previene la compra o modernización de equipos más eficientes, mejores prácticas, etc.

El concepto de barreras se fundamenta teóricamente en la economía neoclásica, la economía de organización, 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).

Un elemento importante a destacar, lo plantean Sathaye y Bouille (2001), quienes siguiendo los planteamientos de Jaffe y Stavins (1994), clasifican aquellos factores que limitan la penetración de equipos energéticamente eficiente en dos categorías: fallos de mercado y manifestaciones de las preferencias de los consumidores. Esta consideración lo señala Kriström (2008), al plantear que mientras que existen una gran cantidad de estudios sobre las posibilidades técnicas que permiten alcanzar potenciales ahorros de energía, es evidente que el consumo de energía depende de otros elementos adicionales, como las actitudes, preferencias, ingresos y precios relativos.

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 maximizan beneficios o minimizan costos no muestra consistencia con la teoría estándar neoclásica, en la cual los agentes son racionales, están bien informados y, por lo tanto deberían explotar aquellas oportunidades para mejorar su desempeño en el mercado. En este sentido, el análisis teórico de la eficiencia energética va más allá incorporando enfoques post-neoclásicos alternativos, como racionalidad limitada, eficiencia X y costos compensatorios (Howard et al., 2000; Sorrell et al., 2004; Dennis, 2006). Del mismo modo se deben considerar elementos de la teoría de la firma (Haddad et al., 1998) y el cambio y difusión de tecnología (Jaffe y Stavins, 1994a; Sanstad y Howarth, 1994b).

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 barreras. Sin embargo, en varias presentaciones y documentos publicados por la Unidad de Planeación Minero Energética y el Ministerio de Minas se señalan de manera indicativa distintos tipos de barreras, es decir, se identifican y describen la existencia de limitantes y se esgrimen algunas propuestas para superarlas. A continuación se referencian tres trabajos que presentan los principales hallazgos de barreras en el caso colombiano.

Desde un punto de vista macro, el Ministerio de Minas ha identificado y clasificado varios tipos de barreras en cuatro diferentes ámbitos (objetivos del PROURE): 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, p.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 de imperfecciones del mercado. Si bien los autores consideran que pueden existir barreras de tipo tecnológico, señalan que las características propias de los consumidores presentan una mayor incidencia —la actitud en la búsqueda de una mayor eficiencia y su capacidad para seleccionar alternativas—, así como el tipo de aparatos que son ofrecidos en el mercado. Aunque las barreras se encuentran mutuamente relacionadas, los autores sugieren la siguiente ‘ordenación’ según su grado de influencia: i) fallos e imperfecciones del mercado (distorsiones de precios, problemas de información, barreras institucionales y regulatorias, ausencia de competencia, y externalidades); ii) la tasa de descuento implícita en decisiones de los consumidores en inversiones que involucran opciones de eficiencia energética son bastante mayores que la tasa de mercado; iii) la energía no aparece como un elemento a priorizar en las decisiones de compra de los consumidores; iv) falta de disponibilidad de equipos eficientes, ausencia de industrias que ofrezcan servicios energéticos, esfuerzos en mercadeo de equipos ineficientes, y falta de capital para llevar a cabo las inversiones; v) costo incremental asociado con las características que mejoran la eficiencia energética; y vi) factores etnográficos y de comportamiento.

A nivel sectorial, más concretamente en el sector industrial, se señalan las barreras que percibe el empresario de este sector en la ejecución de proyectos de uso racional de energía (URE). Según Cosenit (2005, p.9-12), nueve tipos de barreras se pueden agrupar: i) las ganancias derivadas de los proyectos URE no siempre se hacen explícitas para el empresario, 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 en que descansa la decisión, iv) presencia de proyectos más acordes con el *core* del negocio provoca competencia en la destinación de recursos, v) no existe suficiente capacidad de liderazgo y venta de proyectos URE, vi) falta de conocimiento e información sobre los proyectos URE y sobre su rentabilidad, 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 en comparación con la disponibilidad crediticia para otro tipo de proyectos.

2. Contexto internacional

A nivel internacional se plantean tres tipos diferentes de enfoques en los trabajos empíricos de valoración o cuantificación de barreras a nivel empresarial y sectorial: i) aplicación de cuestionarios semiestructurados (Tadashi, 2003; Rohdin y Thollander, 2005; Rohdin et al., 2007; Hasanbeigi et al., 2010), ii) metodologías de evaluación y valoración (Sorrell et al., 2004; Nagesha y Balachandra, 2006; Arroyo Curras, 2010), y iii) estimación de impactos (de Groot et al., 2001; IEA, 2007; Sardanou, 2008; Schleich y Gruber, 2008; Schleich, 2009).

En el primer grupo, Tadashi (2003) analizó las barreras para el caso de las mipymes (micro, pequeñas y medianas empresas) en Sao Paulo. Siguiendo la literatura, clasificó esos obstáculos en seis tipos: i) falta de información (desinformación sobre consumos, falta preocupación, baja concientización); ii) técnicas (baja capacitación tecnológica, empleados cualificados), iii) institucionales (programas inadecuados), iv) económicas y financieras (precios y tarifas, incertidumbre, baja capacidad para invertir, altos costos de tecnologías, acceso al financiamiento); v) organizacionales (baja capacidad organizativa, decisiones basadas en empirismo, individualismo); y vi) falta de visión emprendedora (comportamiento conservador, copia de innovaciones). El autor señala que para el caso de las mipymes analizadas, las principales limitantes están en función de la cultura empresarial existente, falta de empleados cualificados y la poca importancia de la energía en el proceso productivo.

Rohdin y Thollander (2005), en el caso de la industria sueca, encuentran que las principales barreras para industrias manufactureras no-intensivas en el uso de la energía, son en su orden: costos y riesgos asociados al proceso productivo (interrupciones, dificultades, inconvenientes), falta de tiempo, costos en la obtención de información, prioridades de inversión, ausencia de sistemas de medición, e incentivos divididos con las con empresas de servicios energéticos. Por su parte, para la industria intensiva en energía, Rohdin et al. (2007) encuentran que el acceso limitado al capital constituye la principal barrera en la toma de decisiones energéticas. Le siguen en orden de valoración: riesgos técnicos, restricción presupuestaria, costos en la adquisición de información y otras prioridades de inversión.

En la industria tailandesa el principal obstáculo en la realización de un uso adecuado de la energía es que la gestión de prioridades en la firma está volcada hacia la producción (Hasanbeigi et al., 2010). Factores adicionales cambian según las valoraciones de cada industria y las perspectivas de expertos. En el caso de las textileras (no intensiva), los restantes obstáculos más importantes son: la tecnología será más barata, nuevas tecnologías no cumplirán estándares futuros, altos costos en la interrupción de la producción. En la industria cementera (intensiva en energía), estos factores son: altos costos de inversión, tiempo requerido para lograr mejoras, falta de coordinación, y las instalaciones actuales son suficientemente eficientes. Por su parte, la opinión de los expertos para estas industrias, es que después de las prioridades de gestión están: carencia de recursos financieros (especialmente en pymes), falta de visión y entendimiento de los gerentes, falta de información y conocimiento a nivel de firma, y no cumplimiento de las regulaciones gubernamentales.

Empleando metodologías de valoración, varios casos de estudio en diversas organizaciones europeas, en sectores como el educativo e industrial, encontraron que los costos ocultos y el acceso al capital aparecen como las barreras predominantes con un alto grado de importancia en la no-inversión en eficiencia energética (Sorrell et al., 2004). En escalones sucesivos aparecen factores de riesgo (negocios, operativos y de percepción), información imperfecta e incentivos divididos. De acuerdo con los autores, las principales barreras podrían ser interpretadas como la representación racional del comportamiento por parte de las organizaciones.

Para el caso hindú en clústeres de pequeñas industrias, Nagesha y Balachandra (2006) utilizan técnicas multi-criterio para priorizar barreras. En el agregado los obstáculos financieros y económicos presentan la mayor ponderación dentro de la jerarquía, debido a la falta de capacidad de inversión, el tamaño de las firmas y la baja prioridad que presenta la eficiencia energética. En segundo lugar aparecen las barreras comportamentales, presencia que se explica principalmente por las actitudes de los empresarios hacia los temas de uso eficiente de energía.

En la industria química holandesa, Arroyo Curras (2010) valoró las barreras que inhiben que medidas costo-efectivas sean adoptadas, encontrando que los cambios en los precios de la energía, restricciones de presupuesto, otras prioridades de inversión, la tecnología se ajusta a las condiciones actuales, y la falta de compromiso, aparecen como los principales obstáculos a la hora de tomar de decisiones energéticas.

El último grupo de trabajos aplicados comprende la estimación de impactos haciendo uso de técnicas estadísticas y econométricas. Estadísticamente, Velthuijsen (1993) para firmas holandesas de tamaño pequeño y grande, prueba la existencia de una brecha entre las medidas de eficiencia energética actuales y potenciales, resaltando que cinco razones explican esa brecha: i) la factura de la energía no es significativa, ii) existe un conocimiento limitado sobre la existencia de medidas, iii) la eficiencia energética no una característica central del negocio de la firma, iv) los equipos energéticos son relativamente nuevos, y v) existen restricciones presupuestarias.

Haciendo uso de técnicas econométricas, dos trabajos similares capturan la incidencia de las barreras en industrias holandesas (de Groot et al., 2001) y griegas (Sardianou, 2008). En el primer caso, la existencia de otras prioridades de inversión es la barrera más importante, seguida de la resistencia al remplazo de equipos existentes. A nivel de sectores se encuentra evidencia que pocas barreras juegan un papel sistemáticamente diferente (solo significativa para la industria de metales básicos y horticultura). Por su parte, para la industria griega, los obstáculos más importantes son los procedimientos burocráticos para obtener apoyo financiero, la falta de acceso al capital, los altos costos de inversión y la baja tasa de retorno que tienen las inversiones. A nivel de sectores las barreras económicas y organizacionales juegan un papel importante (principalmente para metales y textiles) (Sardianou, 2008).

En la línea del grupo los dos últimos trabajos, a nivel sectorial, más allá de estudios de caso, Schleich y Gruber (2008), mediante estimaciones logísticas para 19 subsectores en Alemania, encontraron que las barreras más importantes son las relaciones principal/agente y la falta de información acerca de los patrones de consumo de energía. En una publicación posterior sobre los mismos subsectores, Schleich (2009) realiza estimaciones para capturar diferencias específicas obteniendo resultados más heterogéneos. En este trabajo se encuentra que los tipos de barreras más importantes varían a través de los subsectores, y la mayoría de éstos están sujetos a relativamente pocas de las barreras que el autor exploró, lo cual permite direccionar políticas específicas a nivel sub-sectorial para tener una mayor probabilidad de ser efectivas.

Por último, a nivel macro, la IEA (2007) presenta varios estudios de caso donde cuantifican la magnitud de energía que es afectada por los problemas de agencia en Australia, Estados

Unidos, Holanda, Japón y Noruega. A nivel general plantean que obstáculos como el inadecuado acceso al capital, funcionamiento de las señales de precios, información asimétrica, e incentivos divididos, pueden conducir a niveles sub-óptimos de eficiencia energética. Estos dos últimos elementos se recogen dentro de los problemas Principal/Agente (PA), que surgen cuando dos partes comprometidas en un contrato tienen diferentes objetivos y diferentes niveles de información.

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

A. *Contexto legal*

Pasando del plano conceptual al plano reglamentario en Colombia, la eficiencia energética encuentra asidero en la Ley 697 de 2001, que circunscribe el Uso Racional y Eficiente de Energía (URE) como un tema de interés nacional. Esta Ley es reglamentada dos años después mediante Decreto 3683. Allí se fijan objetivos concretos, lineamientos, actividades, responsables y programas específicos⁹. El tema URE se ha recogido en los planes energéticos nacionales 2006-2025 (Minminas, 2007) y 2010-2030 (UTUNFB, 2010), 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.

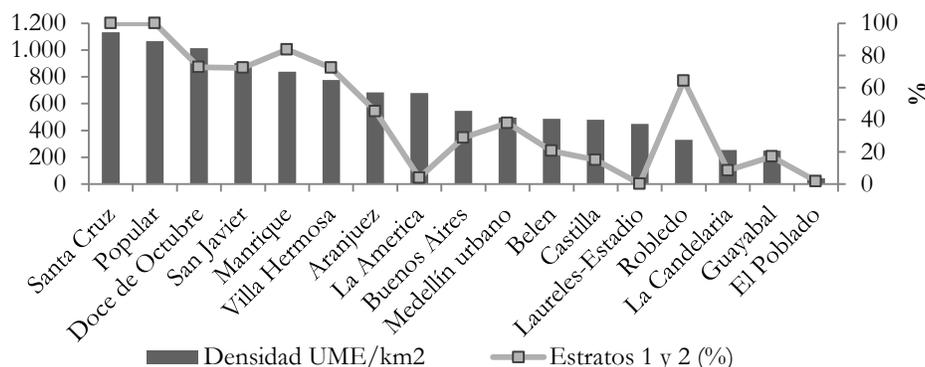
B. *Área de estudio y unidades de análisis: un panorama general*

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. La Figura 1 muestra la densidad de hogares y participación del estrato 1 y 2 por comunas. Se aprecia 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

⁹ Distintas resoluciones y decretos posteriores legitiman, promueven y dictan medidas para que la eficiencia pase del dicho al hecho: Resolución 180609 de 2006, Decreto 2501 de 2007, Decreto 2688 de 2008, Decreto 3450 de 2008, Resolución 181294 de 2008, Resolución 180540 de 2010 y Resolución 180919 de 2010.

65,0% estrato dos), en tanto que en la segunda dicha participación fue del 72,7% (14,4% y 58,3%, respectivamente).

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)

En términos de las condiciones socioeconómicas que sobresalen en estos dos territorios, se encuentran la presencia de bajos ingresos mensuales promedio, cuatro personas promedio por hogar y nivel educativo concentrado en primaria y secundaria (Tabla 1).

Tabla 1. Algunos indicadores socioeconómicos de los barrios y comunas bajo estudio.

Territorio	Población	Personas sin ingresos	Ingresos promedio mensual por persona	Hogares	Personas promedio por hogar	Población con educación primaria y secundaria (%)
Populares	27.369	19.364	\$ 68.198	6.219	4,40	72,90
Santo Domingo Savio 1	26.123	18.571	\$ 64.474	6.124	4,27	73,77
Comuna Popular	154.853	109.731	\$ 66.861	35.071	4,42	73,59
Doce de Octubre 2	12.873	8.575	\$ 105.251	3.211	4,01	80,39
Picachito	8.562	6.190	\$ 64.541	1.830	4,68	74,81
Comuna Doce de Octubre	166.871	112.794	\$ 91.722	40.353	4,14	78,98

Fuente: Alcaldía de Medellín (2011).

Los datos energéticos disponibles a nivel de comuna y barrio que pueden contextualizar 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 más altos, que por lo general corresponden a zonas de invasión, la presencia del gas natural es prácticamente nula.

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

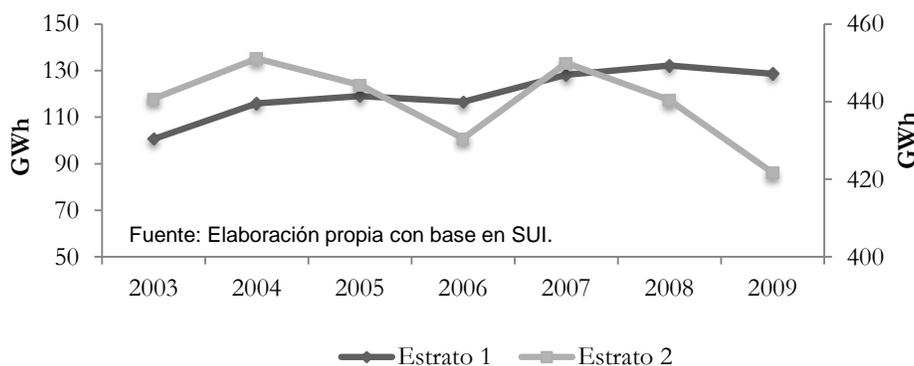
Territorio	Con conexiones a redes (% viviendas)		Combustible utilizado para cocinar (% hogares)						
	Eléctricas	Gas	No cocinan	Leña, carbón de leña, material de desechos	Carbón mineral	Kerosene, petróleo, gasolina, cocinol	Gas en cilindro o pipeta	Gas con conexión por tubería	Electricidad
Populares	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).

C. Consumo de energía eléctrica en Medellín

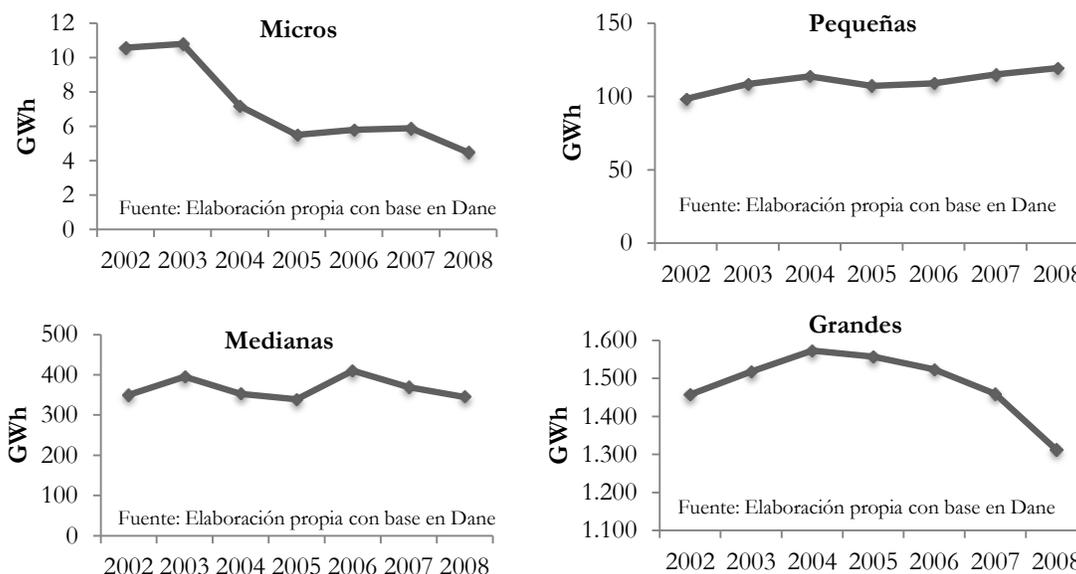
Desagregando el consumo residencial de interés, vemos que el estrato uno ha tenido un comportamiento alcista, con un crecimiento promedio anual de 4,4%. Por su parte, el estrato dos ha exhibido una dinámica completamente contraria, con tendencia decreciente y un decrecimiento promedio anual de 0,7% (Gráfico 2).

Gráfico 2. Consumo de electricidad en estratos uno y dos, 2003-2009.



Ahora, para el consumo de electricidad en la industria de Antioquia¹⁰, se tiene que éste ha crecido a una tasa de 1,5% promedio anual. No obstante, por tamaño de empresa (Gráfico 3), se destaca el consumo decreciente año a año para las microempresas a una tasa promedio anual de -11,9%. Ahora bien, el hecho de que éstas exhiban demandas cada vez menores, no necesariamente implica la puesta en prácticas medidas de eficiencia energética, y por ende el consumo se haya reducido drásticamente.

Gráfico 3. Antioquia: consumo de electricidad sector industrial según tamaño de empresa, 2001-2008.



III. Estructura metodológica

A. Métodos de recolección de información

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 (Schmoltdt y Peterson, 1997). Las valoraciones obtenidas consideran las barreras a las medidas de eficiencia energética en un

¹⁰ Para contextualizar el consumo de energía a nivel de firmas se tomó la información de la Encuesta Anual Manufacturera (EAM) publicada por el Dane, clasificándola según tamaño de empresa de acuerdo con la clasificación de escala de personal presentada allí. La información es para Antioquia, ya que el Dane no publica a nivel de área metropolitana la desagregación por escala de personal. Los datos de consumo de electricidad se homogenizaron, ya que año a año el número de establecimientos varía. Por ello, se estableció como referencia el número de establecimientos promedio para el período 2003-2008, y se calculó el consumo con base en esa referencia.

sentido amplio y general, sin detenerse en medidas concretas. Para ello, se contó con las percepciones emitidas por quince microempresarios que hicieron parte activa de un proyecto en la temática y contaron con un proceso de capacitación en diferentes temas de energía.

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 a una regla de elección (Saaty, 1977; 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 (Saaty, 1987, p.1). Su representación parte de unos factores, que una vez seleccionados, se organizan en una estructura jerárquica que desciende desde un objetivo general a unos criterios y sub-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, 1977, 1990, 1994).

El sustento matemático parte de describir un método para derivar, desde la valoración de los juicios de valor, un conjunto de ponderadores asociados a las alternativas para jerarquizar la información resultante (Saaty, 1994). Entonces, se asume que hay n alternativas diferentes e independientes (A_1, \dots, A_n), con n ponderadores (W_1, \dots, W_n). De esta forma, la valoración de las alternativas pareadas (A_i, A_j) se representa en una matriz de orden n , positiva, recíproca y con diagonal unitaria:

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

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

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

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 $AW = nW$. En otras palabras, n es el valor propio de A , es único cuando se normalizan las entradas de W al dividir por la suma de los vectores columna. Una vez hallada la solución a ese sistema de ecuaciones por el método del valor propio: $AW = \lambda_{max}W$, Saaty (1994) plantea una forma de corroborar la bondad de ajuste de las valoraciones definiendo un índice de compatibilidad (IC): $IC = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$, y una tasa de consistencia (TC): $TC = IC / IA$, donde IA 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, 1990). La Tabla 4 presenta la escala de valoración que usa la metodología empleada. Dicha escala, según Saaty (1990), ha sido validada no solo por su efectividad empírica, sino a través de comparaciones teóricas con otro tipo de escalas.

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
Recíprocos	Si la actividad i se le asigna alguno de los números de arriba cuando es comparada con la actividad j , entonces j es el valor recíproco cuando es comparado con i .	
Racionalidad	Tasas que surgen de la escala	Si fuera necesario forzar a consistencia para obtener los n valores numéricos que abarcan la matriz

Fuente: Saaty (1990).

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

1. **Modelando el problema de las barreras como una jerarquía**

El método AHP es una metodología que exhibe bondades para realizar este análisis, ya que permite elegir los factores que son importantes para clasificar las barreras, seleccionarlos en una estructura jerárquica descendente desde un objetivo general a los criterios, y de ahí a las barreras y sub-barreras en niveles sucesivos (Saaty, 1994). Estos impedimentos, una vez

depurados en un taller de identificación realizado con los microempresarios, han sido clasificados en varias categorías para su agrupación. A continuación se detalla la estructura jerárquica que se sigue (ver ilustración 2), la cual será modelada para valorar las barreras a la eficiencia energética:

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

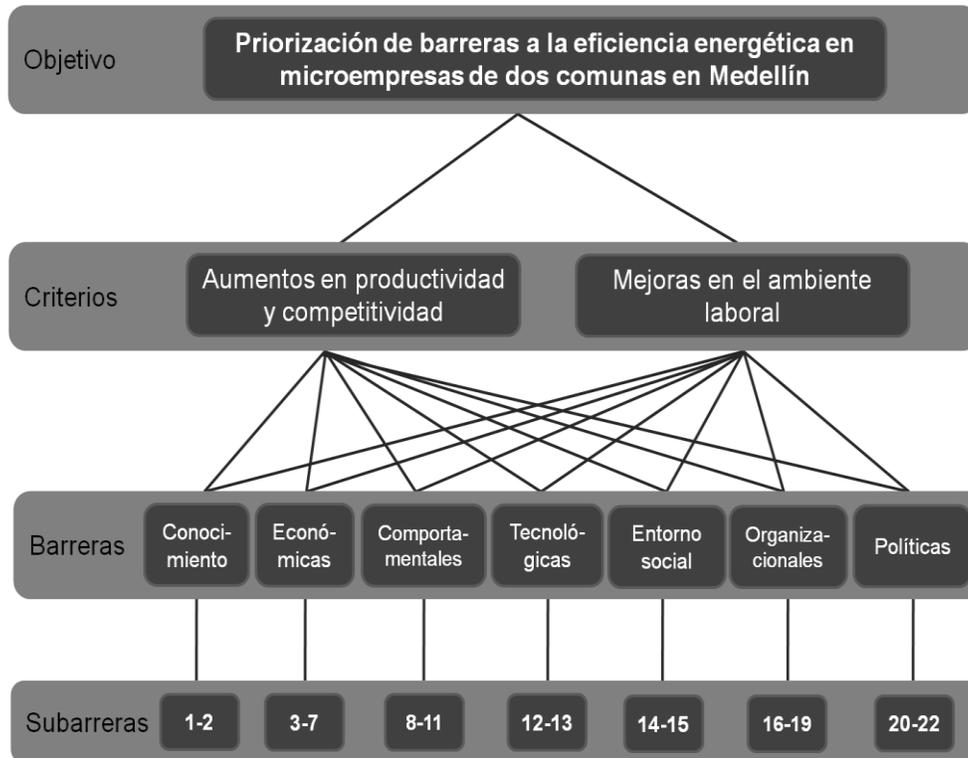
Criterios: *i)* mejora en la productividad y competitividad de las microempresas (ahorros en tiempos, reducción del valor facturado y eficiencia en los procesos), *ii)* mejoras en el ambiente laboral (impactos en las condiciones de salubridad y seguridad).

Barreras: *1)* falta de conocimiento e información del empresario; *2)* falta de vendedores capacitados; *3)* ausencia de instrumentos (mecanismos) o dificultad para acceder a financiación; *4)* restricción presupuestaria; *5)* relaciones principal-agente; *6)* los costos de inversión iniciales en tecnologías eficientes son altos; *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.

Cada una de estas barreras se pueden clasificar en grupos¹¹ para que los microempresarios determinen que tipología de barreras tienen mayor incidencia en la no-adopción de prácticas y tecnologías energéticamente eficientes, y así validar y hacer congruir los diversos juicios de valor en una ordenación ponderada que permita identificar la importancia relativa de dichas barreras.

¹¹ 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 éstas son invisibles, si bien son reales y no observables. No obstante, la agrupación es necesaria dado que ésta se encuentra justificada teóricamente, y además con el fin de derivar propuestas de soluciones, es más práctico encajar propuestas de acuerdo a un campo de dominio específico.

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



Fuente: Elaboración propia.

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 incrementa¹² (Bozóki y Lewis, 2005). Ahora e^{n el caso de} tener un grupo de individuos, Aull-Hyde et al. (2006) demuestran mediante simulaciones, que la agregación de preferencias individuales arrojará resultados completamente consistentes ($TC = 0\%$) cuándo se cuenta con tamaño de grupo lo suficientemente grande¹³.

En este 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

¹² El tema de la inconsistencia es algo natural en la toma de decisiones por parte de los seres humanos. 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):

n	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

¹³ No obstante, a mayor número de comparaciones se necesitarán tamaños muestrales cada vez más pequeños para obtener matrices con niveles de inconsistencia por debajo del umbral teórico (Aull-Hyde et al., 2006).

para cada sistema matricial, donde las pruebas de bondad de ajuste arrojaron tasas de consistencia (TC) muy superiores al nivel teórico 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 (Harker, 1987; Saaty, 2003), y así lograr una transformación matemática que genere una consistencia adecuada.

3. Agregación de preferencias

El ejercicio de valoración de barreras implica agregar las preferencias individuales para obtener una representación social de los distintos juicios. En el contexto del AHP, se utilizan dos caminos para alcanzar consenso a partir de las valoraciones individuales: i) agregación de los juicios individuales (AJI) y ii) agregación de las prioridades individuales (API) (Van Den Honert y Lootsma, 1997; Forman y Peniwati, 1998)¹⁴. El primer caso implica agrupar cada una de las entradas a_{ij} de la matriz de ponderaciones, y el segundo caso, las entradas w_i del vector de ponderaciones. Forman y Peniwati (1998) señalan que la elección depende del tipo de comportamiento que se asuma para el grupo, si se considera un grupo homogéneo (es apropiado usar AJI) o como individuos separados (es apropiado usar API). Tras esto, resta definir que método de agregación emplear, si la media geométrica (MG) o la media aritmética ponderada (MAP) (Aczél y Saaty, 1983; Ramanathan y Ganesh, 1994).

Teniendo este contexto en mente, se optó por la agregación de las prioridades individuales de los microempresarios 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. Como agregador matemático se usó la media aritmética simple (todos los individuos tienen igual peso), ya que, por un lado la dispersión presente en los datos sugería descartar la media geométrica¹⁵ (Saaty y Vargas, 2007), 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

¹⁴ Estos caminos se refieren a procedimientos matemáticos aplicables una vez se dispone de la información de las valoraciones individuales (caso de interés en este trabajo). 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. Estos acercamientos se escapan del alcance de este trabajo.

¹⁵ Siguiendo la metodología expuesta en Saaty y Vargas (2007), se construyeron índices de dispersión para cada una de las comparaciones pareadas para ver si la media geométrica es el método más adecuado para agregar las valoraciones de las barreras a la eficiencia energética en el caso microempresarial. Este análisis sugirió agregar las preferencias mediante la media aritmética y descartar la media geométrica como agregador.

(las barreras), más allá de un simple número que expresa una localización en un conjunto de información. Esta situación debe quedar evidenciada a la hora de delinear propuestas de soluciones, ya que las valoraciones realizadas están sujetas a cierto grado de incertidumbre.

Una vez obtenidos los vectores de prioridades para cada nivel de la jerarquía, se sintetizaron las barreras agrupadas (Tabla 5) y las distintas sub-barreras (Tabla 6) para obtener el orden de importancia relativo. La Tabla 5 muestra que en el caso de las barreras agrupadas para ambos criterios como referente de valoración, los factores de tipo económico y financiero (24,7%) son las 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 localizadas 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 (micro), 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 el primer lugar de este tipo de barreras y 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

Entretanto, cuando se desagregan las barreras, se deja entrever la importancia relativa más específica que tienen algunos factores. 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), los altos costos iniciales de inversiones en tecnologías

eficientes (0,076), la 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), la falta una mayor participación local por visibilizar el tema de la energía (0,065), y la dificultad para acceder al crédito (0,059).

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

Criterios	Pesos locales	Barreras	Pesos globales	Orden	Sub-barreras	Pesos locales	Pesos globales	Orden
Competitividad y productividad	0,814	Conocimiento e información	0,111	7	Falta conocimiento e información empresario	0,610	0,068	3
					Falta de vendedores capacitados	0,390	0,043	11
Seguridad y salubridad	0,186	Económicas y financieras	0,247	1	Dificultad para acceder a financiación	0,238	0,059	7
					Restricción presupuestaria	0,184	0,045	10
					Incentivos divididos	0,148	0,037	15
					Costos de inversión altos	0,306	0,076	2
					Heterogeneidad tecnológica	0,123	0,030	17
		Comportamentales	0,112	6	Falta de interés	0,224	0,025	19
					Racionalidad limitada	0,361	0,041	13
					Cultura de descuido	0,249	0,028	18
		Técnicas y tecnológicas	0,133	3	Falta disponibilidad equipos eficientes	0,508	0,068	4
					Riesgos técnicos	0,492	0,066	5
		Entorno social	0,113	5	Seguridad y violencia en la ciudad	0,429	0,049	8
					Aceptación social y participación local	0,571	0,065	6
		Organizacionales	0,118	4	Incertidumbre futura	0,350	0,041	12
					Otras prioridades de inversión	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 regulación nacional	0,284	0,047
		No existe etiquetado	0,243	0,040		14		
		Ausencia de medidas incentivadoras	0,473	0,078		1		

Del ranking de las principales sub-barreras, tres de éstas podrían decirse que son internas a las microempresas (conocimiento empresario, riesgos técnicos y restricción presupuestaria), en tanto que las restantes ocho son externas a las firmas. Estos resultados son similares a los encontrados en barreras a la implementación de medidas de producción limpia en pymes chinas¹⁶ (Shi et al., 2008, p.847), donde los cinco principales obstáculos encontrados fueron: ausencia de políticas económicas incentivadoras (0,099), laxa aplicación de las

¹⁶ Guardando las proporciones, según número de empleados una empresa en China se considera como pyme cuando tiene menos de 2.000 trabajadores (Shi et al., 2008). 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 (Shi et al., 2008).

normas ambientales (0,095), altos costos iniciales de inversión (0,082), pobres resultados financieros (0,076), y dificultad para acceder al crédito (0,067). En este sentido, y siguiendo el planteamiento de los autores, las medidas correctivas deberían enfocarse en fortalecer la política URE, mejorar las condiciones de mercado, y establecer programas de asistencia técnica, con el objetivo de fomentar el uso de medidas de eficiencia energética en microempresas.

Por último, los resultados de la jerarquía en el segundo y tercer nivel guardan concordancia, ya que las barreras económicas y financieras, y políticas e institucionales, tanto en el agregado como en lo específico presentan las mayores participaciones en términos de importancia, siendo coherentes con la estructura jerárquica que se plantea en el método AHP que sigue este estudio.

B. Discusión

Algunas de las barreras del lado de la demanda identificadas dos décadas atrás aún persisten. Como se mostró, la ausencia de incentivos, los altos costos de inversión y la ausencia de información, figuran en el lugar más alto de la jerarquía como las principales limitantes a la eficiencia energética en las microempresas estudiadas. 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 producción¹⁷; 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 aducen Sanstad y Howarth (1994a), las limitaciones en la racionalidad del consumidor no desaparecen simplemente con establecer políticas específicas. De hecho, éstas 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 hacer visible las bondades de la eficiencia energética (gestión de la demanda). Complementando lo anterior, Sorrell et al. (2004) apunta, por ejemplo, que en la

¹⁷ En el caso de la producción ese costo incremental en medidas de eficiencia energética trae consigo indefectiblemente aumento en los precios de comercialización, lo cual afecta las decisiones de compra los consumidores. En este sentido, no existen incentivos que conlleven a que las empresas fabricantes de equipos y componentes eléctricos incorporen materiales eficientes en sus productos, ya que al final la ineficiencia en el consumo energético terminará siendo asumida por el usuario final. Un factor adicional derivado de esta situación tiene que ver con la ausencia de competencia. El mercado de electrodomésticos y uso final es pequeño y oligopólico (controlado por pocas firmas), lo que da lugar a pocos incentivos por parte de la industria para incrementar su calidad, lo que incluyen las características de eficiencia energética (Banco Mundial y Esmap, 1992).

explicación bajo el enfoque de racionalidad limitada, distintos estudios de caso demuestran que la eficiencia energética podría ser ignorada aún si un individuo posee las condiciones para pagar la factura de la energía o si éste está bien informado. De manera general, siguen aduciendo, que incluso siendo superados los fallos de mercado y organizacionales, las firmas podrían continuar rechazando la eficiencia energética por su baja contribución en los costos totales. Esto implica, continúan, el diseño de intervenciones que permitan una adecuada transformación del mercado, es decir la combinación de mecanismos que incentiven tanto la demanda como la oferta.

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 Hennis 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 fungen 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.

Los elementos esbozados en los párrafos anteriores plantean un ideal a alcanzar para que las políticas de eficiencia energética en el caso colombiano (Ley URE) sean internalizadas en la toma de decisiones por parte de los agentes económicos. Ahora bien, esas condiciones ideales aún no existen en el país y requieren de tiempo y recursos para que sean llevadas a la realidad. Por ello, las propuestas acordes con las barreras priorizadas en esta investigación deben enfocarse en instrumentos que ayuden a superar los obstáculos más relevantes —sin desconocer que éstos están interrelacionados de alguna forma con otras barreras—. Siguiendo el menú de opciones planteado por el Banco Mundial y el Esmap (1992, p.33), pueden usarse tres tipos de instrumentos de política¹⁸: regulación, información y medidas económicas. La regulación plantea el establecimiento de estándares para mejorar parámetros tecnológicos, la información debe responder al contexto específico para que sea eficaz, y los instrumentos económicos deben dar cuenta de políticas de precios e incentivos financieros.

Las situaciones expuestas fundamentan o 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 de tecnologías eficientes, es poco probable que medidas de

¹⁸ Este tipo estándar de instrumentos propuestos hace un par de décadas continúan siendo extrapolables actualmente. Este menú de sugerencias ha sido expuesto desde la OECD (2011), cuando esgrimen que las políticas disponibles para que los hacedores de política promuevan un uso más eficiente de la energía en el sector residencial, así como el uso de energías renovables, van desde incentivos económicos (impuestos y subsidios), provisión de información (etiquetado de eficiencia energética y campañas divulgativas), y regulaciones directas (normas de energía para artefactos).

eficiencia energéticas sean internalizadas, y por ende adoptadas por los microempresarios. Es clave el desarrollo este tipo de instrumentos, que permitan crear canales crediticios específicos para la reconversión de equipos más eficientes, diseñar de incentivos que involucren amplios plazos de amortización, bajas tasas de interés, así como localmente crear medidas desde las empresas prestadoras de servicios públicos para incentivar a sus usuarios a hacer un mejor uso de la energía.

Por su parte, 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 éstas sean adoptadas, ya que existe información técnica que difícilmente va ser asimilada por los microempresarios. Así, las soluciones pueden provenir de aquellas instituciones encargadas del fomento empresarial, caso los Cedezos, Microempresas de Antioquia, Interactuar, etc., las cuales tendrían que enriquecer su portafolio de servicios para articular la eficiencia energética como un complemento a las áreas de actuación administrativa, contable, financiera, legal y técnica. De esta forma, podrían actuar como canalizadores y difusores para que un público no entendido logre, en primer lugar, concientizar e internalizar la importancia que tiene la eficiencia energética 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 (CECIM et al., 2011).

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. Estos autores subrayan 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 sólo 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’¹⁹, 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 esta fuera del control de consumidores y productores²⁰. En este punto, el hecho de que

¹⁹ 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.

²⁰ 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 de que son obstáculos arraigados en la población del país que hace necesario una mayor profundización investigativa desde las ciencias sociales.

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)²¹, 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 microempresarios²².

Entretanto, los instrumentos económicos plantean la política de precios²³ como uno de los correctivos más eficientes de fomento al uso adecuado y sustitución de fuentes energéticas, ya que corrigen las distorsiones, dan un mensaje correcto a los consumidores y minimizan la pérdida de bienestar (Banco Mundial y Esmap, 1992). Ahora bien, los efectos distributivos, inflacionarios y de inelasticidad de la demanda son consecuencias indeseadas derivadas del uso de estos instrumentos. Un elemento crucial y un arma de doble filo, tiene que ver con el sistema de precios en el caso de las microempresas. La principal razón son las distorsiones de precios, ya que se conjugan tarifas residenciales subsidiadas hasta consumos de subsistencia, que aplica en el caso de las microempresas que están embebidas en el hogar, y aquellas que no han sido reconocidas en tarifa comercial que disfrutan de ese subsidio (informalidad). Sin duda este elemento puede actuar como medida coercitiva para presionar por un mejor uso de la energía, pero a la vez que incrementa el costo de este insumo, y por ende los costos de producción, puede hacer inviable este tipo de negocios en las condiciones en que se encuentran operando.

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. 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 esta 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).

En la dirección anterior, Sanstad y Howarth (1994b, 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. En condiciones de bajos ingresos, como el contexto de los microempresarios analizados en este estudio, con frecuencia es difícil acceder al mercado financiero tradicional o en caso de acceder tienen que pagar altos intereses para obtener préstamos de las instituciones de crédito. Bajo estas circunstancias, este tipo de agentes económicos pueden utilizar

²¹ El caso de algunas microempresas en la fabricación de productos alimenticios, como arepas.

²² Howarth y Andersson (1993) plantean que la 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.

²³ Un rasgo distintivo a considerar es que la gente no demanda energía per se, sino que lo hace por los servicios que ésta le provee, lo cual sugiere que la energía se convierte en una demanda derivada (Sanstad y Howarth, 1994b).

racionalmente altas tasas de descuento en la evaluación de las necesidades de mejoras en materia de eficiencia energética. No obstante, la asignación de recursos resultante no cumple con los requisitos de la eficiencia económica: la oferta de todos los bienes y servicios podría ser creciente en la reasignación de inversiones para aprovechar los altos retornos sobre las medidas de eficiencia energética en microempresas de bajos ingresos.

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. Así, aunque el productor comercialice su producto en el mercado con determinadas características, la ineficiencia final la termina pagando el usuario final vía un mayor consumo por la calidad inferior de algunos de los componentes de los equipos. En este sentido, si bien existe una variedad de equipos en el mercado local, comparados con los estándares internacionales no corresponden con los de más alta eficiencia.

Finalmente, en lo que se refiere al tema técnico, problemáticas como la presencia de instalaciones, tanto eléctricas como térmicas, en precarias condiciones, situación que pone en riesgo latente la vida de las personas que laboran en las microempresas (CECIM et al., 2011). Esta condición los microempresarios la consideraron como una de las barreras más importantes que minan posibilidades de aplicar medidas de eficiencia energética. A diferencia de algunos de los estudios referenciados al principio, 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 productiva²⁴.

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

²⁴ Las iniciativas institucionales promovidas desde la administración local, en particular el clúster de energía y la construcción, podrían servir de escenarios que permitan el encuentro de intereses de oferentes y demandantes para buscar soluciones estructurales a esta problemática.

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. Henniscke et al. (1998, p.16) plantean que el uso adecuado de la energía representa un mercado promisorio de tecnologías y servicios energéticos, donde las empresas prestadoras de servicios públicos, podrían beneficiarse al trasegar desde un modelo de oferta puro de energía hacia un modelo de provisión de servicios integrados de energía. No obstante, esas relaciones mutuas de ganancia, usuarios-empresas, podrían verse limitadas debido a la existencia de barreras económicas, políticas, sociales, organizacionales y comportamentales, y a la ausencia de funcionamiento de mercados de servicios energéticos. De acuerdo con el análisis multi-criterio, distintos tipos de barreras confluyen en la explicación de la no-adopción de medidas de eficiencia energética costo-efectivas. 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 se sugieren diverso tipo de instrumentos 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, por lo que es claro que la realización de las 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 y, 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.

Referencias bibliográficas

ACZÉL, J. y SAATY, T. (1983). Procedures for synthesizing ratio judgements. *Journal of Mathematical Psychology*, 27(1), 93-102.

ALCALDÍA DE MEDELLÍN. (2011). Indicadores y Estadísticas. Departamento Administrativo de Planeación, Medellín [En línea] <http://www.medellin.gov.co/>.

ARROYO CURRAS, T. (2010). Barriers to investment in energy saving technologies: case study for the energy intensive chemical industry in the Netherlands. Faculty of Geosciences, Universiteit Utrecht, Utrecht.

AULL-HYDE, Rhonda; ERDOGAN, Sevqi and DUKE, Joshua (2006). An experiment on the consistency of aggregated comparison matrices in AHP. *European Journal of Operational Research*, 171(1), 290-295.

BANCO MUNDIAL y ESMAP. (1992). Estudio de eficiencia energética de los sectores residencial, comercial y oficial (pp. 228). Ministerio de Minas y Energía, Comisión de Regulación de Energía y Gas, Bogotá.

BATES, R. (1991). Energy Conservation Policy in Developing Countries: The Case for Market Solutions. Washington: Environment Department, World Bank.

BOZÓKI, Sandor and 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*, 13(3), 255-270.

CARLSMITH, R., MCMAHON, J., CHANDLER, W. y SANTINI, D. (1990). Energy Efficiency: How Far Can We Go? Energy Conversion Engineering Conference, IECEC-90. Proceedings of the 25th Intersociety.

CECIM, GITER, GIMEL y 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, C. (2007). Strategic fit of energy efficiency (Strategic and cultural dimensions of energy-efficiency investments). Paper presented at the ECEEE Summer Study 2007. Saving energy – just do it! Panel 1: The Foundations of a Future Energy Policy, La Colle sur Loup.

COSENT (2005). Estrategia de uso racional de energía en el sector industrial colombiano. Corporación de Soluciones Energéticas Integrales, Unidad de Planeación Minero Energética. Bogotá.

DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2005). Censo 2005. [En línea] <http://www.dane.gov.co/>.

DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2008). Encuesta anual manufacturera 2002-2008. [En línea] <http://www.dane.gov.co/>.

DE GROOT, H., VERHOEF, E. y NIJKAMP, P. (2001). Energy saving by firms: decision-making, barriers and policies. *Energy Economics*, 23(6), 717-740.

DECANIO, S. (1993). Barriers within firms to energy-efficient investments. *Energy Policy*, 21(9), 906-914.

- DENNIS, K. (2006). The Compatibility of Economic Theory and Proactive Energy Efficiency Policy. *The Electricity Journal*, 19(7), 58-73.
- DIARIO OFICIAL (2001). Ley 697 de 2001. Bogotá.
- FORMAN, E. y PENIWATI, K. (1998). Aggregating individual judgments and priorities with the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 108(1), 165-169.
- GUZMÁN, O. (2009). Eficiencia energética, un panorama regional, Seguridad energética, Energía, Estado y mercado. Nueva Sociedad, Fundación Friedrich Ebert Stiftung, Quito.
- HADDAD, B., HOWARTH, R. y PATON, B. (1998). Energy Efficiency and the Theory of the Firm. Paper presented at the ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Pacific Grove, CA.
- HARKER, P. (1987). Derivatives of the Perron root of a positive reciprocal matrix: With application to the analytic hierarchy process. *Applied Mathematics and Computation*, 22(2-3), 217-232.
- HASANBEIGI, A., MENKE, C. y DU PONT, P. (2010). Barriers to energy efficiency improvement and decision-making behavior in Thai industry. *Energy Efficiency*, 3(1), 33-52.
- HENNICKE, P., RAMESOHL, S., OSTERTAG, K., GRUBER, E. y FRAHM, T. (1998). InterSEE: 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. Wuppertal.
- HOWARTH, R. y ANDERSSON, B. (1993). Market barriers to energy efficiency. *Energy Economics*, 15(4), 262-272.
- HOWARTH, R., HADDAD, B. y PATON, B. (2000). The economics of energy efficiency: insights from voluntary participation programs. *Energy Policy*, 28(6-7), 477-486.
- IEA: International Energy Agency (2007). *Mind the Gap: Quantifying Principal-Agent Problems in Energy Efficiency*. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development International Energy Agency.
- JAFFE, A. y STAVINS, R. (1994a). The energy paradox and the diffusion of conservation technology. *Resource and Energy Economics*, 16(2), 91-122.
- JAFFE, A. y STAVINS, R. (1994b). The energy-efficiency gap What does it mean? *Energy Policy*, 22(10), 804-810.
- JOSKOW, P. (1994). More from the guru of energy efficiency: 'There must be a pony!'. *The Electricity Journal*, 7(4), 50-61.

KRISTRÖM, B. (2008). Residential Energy Demand. En: OECD (Ed.), 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.). Ministerio de Minas y Energía, 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.

MOELLER, S. (2002). Energy efficiency: issues and trends: Nova Science Pub Inc.

NAGESHA, N. y BALACHANDRA, P. (2006). Barriers to energy efficiency in small industry clusters: Multi-criteria-based prioritization using the analytic hierarchy process. *Energy*, 31(12), 1969-1983.

PATTERSON, M. (1996). What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues. *Energy Policy*, 24(5), 377-390.

PRÍAS, O. (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, Bogotá.

RAMANATHAN, R. y GANESH, L. (1994). Group preference aggregation methods employed in AHP: An evaluation and an intrinsic process for deriving members' weightages. *European Journal of Operational Research*, 79(2), 249-265.

REDDY, A. (1991). Barriers to improvements in energy efficiency. *Energy Policy*, 19(10), 953-961.

ROHDIN, P. y THOLLANDER, P. (2005). Barriers to and driving forces for energy efficiency in the non-energy intensive manufacturing industry in Sweden. *Energy*, 31(12), 1836-1844.

ROHDIN, P., THOLLANDER, P. y SOLDING, P. (2007). Barriers to and drivers for energy efficiency in the Swedish foundry industry. *Energy Policy*, 35(1), 672-677.

SAATY, R. W. (1987). The analytic hierarchy process--what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3-5), 161-176.

SAATY, T. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234-281.

SAATY, T. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9-26.

SAATY, T. (1994). *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process (Analytic Hierarchy Process Series, Vol. 6)*. Pittsburgh: RWS Publications.

SAATY, T. (2003). Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary. *European Journal of Operational Research*, 145(1), 85-91.

SAATY, T., Vargas, L. y Whitaker, R. (2009). Addressing with Brevity Criticisms of the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 1(2).

SANSTAD, A. y HOWARTH, R. (1994a). Consumer Rationality and Energy Efficiency (Vol. 1: Human Decisions): Proceedings of the 1994 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings. Washington, DC.

SANSTAD, A. y HOWARTH, R. (1994b). 'Normal' markets, market imperfections and energy efficiency. *Energy Policy*, 22(10), 811-818.

SARDIANOU, E. (2008). Barriers to industrial energy efficiency investments in Greece. *Journal of Cleaner Production*, 16, 1416-1423.

SATHAYE, J. y BOUILLE, D. (2001). Barriers, Opportunities, and Market Potential of Technologies and Practices. En: Metz, B., Davidson, O., Swart, R., y Pan, J. (Eds.), *Climate change 2001: mitigation: contribution of Working Group III*. Cambridge.

SCHLEICH, J. (2009). Barriers to energy efficiency: A comparison across the German commercial and services sector. *Ecological Economics*, 68(7), 2150-2159.

SCHLEICH, J. y GRUBER, E. (2008). Beyond case studies: Barriers to energy efficiency in commerce and the services sector. *Energy Economics*, 30(2), 449-464.

SCHMOLDT, D. y PETERSON, D. (1997). Using the AHP in a workshop setting to elicit and prioritize fire research needs. Paper presented at the ACSM/ASPRS/RT, Seattle.

SHAMA, A. (1983). Energy conservation in US buildings: Solving the high potential/low adoption paradox from a behavioural perspective. *Energy Policy*, 11(2), 148-167.

SHI, H., PENG, S., LIU, Y. y ZHONG, P. (2008). Barriers to the implementation of cleaner production in Chinese SMEs: government, industry and expert stakeholders' perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 16(7), 842-852.

SORRELL, S., O'MALLEY, E., SCHLEICH, J. y SCOTT, S. (2004). *The economics of energy efficiency: barriers to cost-effective investment*. Cheltenham [u.a.]: Edward Elgar Publishing Limited.

SUI: Servicio Único de Información de Servicios Públicos (2011). Consulta de información energía. Información Comercial - Departamento – Municipio. [En línea]
<http://www.sui.gov.co/>.

SUTHERLAND, R. (1991). Market Barriers to Energy-Efficiency Investments. *The Energy Journal*, 12(3), 15-34.

TADASHI, R. (2003). Barreiras ao Uso Racional de Energia em Micro, Pequenas e Médias Empresas. Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

UTUNFB: Unión Temporal Universidad Nacional y Fundación Bariloche (2010). Análisis y revisión de los objetivos de política energética colombiana de largo plazo y actualización de sus estrategias de desarrollo. PEN 2010-2030. Informe Final. UPME, Bogotá.

VAN DEN HONERT, R. y LOOTSMA, F. (1997). Group preference aggregation in the multiplicative AHP The model of the group decision process and Pareto optimality. *European Journal of Operational Research*, 96(2), 363-370.

VELTHUIJSEN, J. (1993). Incentives for investment in energy efficiency: an econometric evaluation and policy implications. *Environmental and Resource Economics*, 3(2), 153-169.

WEBER, L. (1997). Some reflections on barriers to the efficient use of energy. *Energy Policy*, 25(10), 833-835.

Borradores del CIE

No.	Título	Autor(es)	Fecha
01	Organismos reguladores del sistema de salud colombiano: conformación, funcionamiento y responsabilidades.	Durfari Velandia Naranjo Jairo Restrepo Zea Sandra Rodríguez Acosta	Agosto de 2002
02	Economía y relaciones sexuales: un modelo económico, su verificación empírica y posibles recomendaciones para disminuir los casos de sida.	Marcela Montoya Múnera Danny García Callejas	Noviembre de 2002
03	Un modelo RSDAIDS para las importaciones de madera de Estados Unidos y sus implicaciones para Colombia	Mauricio Alviar Ramírez Medardo Restrepo Patiño Santiago Gallón Gómez	Noviembre de 2002
04	Determinantes de la deserción estudiantil en la Universidad de Antioquia	Johana Vásquez Velásquez Elkin Castaño Vélez Santiago Gallón Gómez Karoll Gómez Portilla	Julio de 2003
05	Producción académica en Economía de la Salud en Colombia, 1980-2002	Karem Espinosa Echavarría Jairo Humberto Restrepo Zea Sandra Rodríguez Acosta	Agosto de 2003
06	Las relaciones del desarrollo económico con la geografía y el territorio: una revisión.	Jorge Lotero Contreras	Septiembre de 2003
07	La ética de los estudiantes frente a los exámenes académicos: un problema relacionado con beneficios económicos y probabilidades	Danny García Callejas	Noviembre de 2003
08	Impactos monetarios e institucionales de la deuda pública en Colombia 1840-1890	Angela Milena Rojas R.	Febrero de 2004
09	Institucionalidad e incentivos en la educación básica y media en Colombia	David Fernando Tobón Germán Darío Valencia Danny García Guillermo Pérez Gustavo Adolfo Castillo	Febrero de 2004
10	Selección adversa en el régimen contributivo de salud: el caso de la EPS de Susalud	Johana Vásquez Velásquez Karoll Gómez Portilla	Marzo de 2004
11	Diseño y experiencia de la regulación en salud en Colombia	Jairo Humberto Restrepo Zea Sandra Rodríguez Acosta	Marzo de 2004
12	Economic Growth, Consumption and Oil Scarcity in Colombia: A Ramsey model, time series and panel data approach	Danny García Callejas	Marzo de 2005
13	La competitividad: aproximación conceptual desde la teoría del crecimiento y la geografía económica	Jorge Lotero Contreras Ana Isabel Moreno Monroy Mauricio Giovanni Valencia Amaya	Mayo de 2005
14	La curva Ambiental de Kuznets para la calidad del agua: un análisis de su validez mediante raíces unitarias y cointegración	Mauricio Alviar Ramírez Catalina Granda Carvajal Luis Guillermo Pérez Puerta Juan Carlos Muñoz Mora Diana Constanza Restrepo Ochoa	Mayo de 2006
15	Integración vertical en el sistema de salud colombiano: Aproximaciones empíricas y análisis de doble marginalización	Jairo Humberto Restrepo Zea John Fernando Lopera Sierra Sandra Rodríguez Acosta	Mayo de 2006
16	Cliometrics: a market account of a scientific community (1957-2005)	Angela Milena Rojas	Septiembre de 2006
17	Regulación ambiental sobre la contaminación vehicular en Colombia: ¿hacia dónde vamos?	David Tobón Orozco Andrés Felipe Sánchez Gandur Maria Victoria Cárdenas Londoño	Septiembre de 2006

18	Biology and Economics: Metaphors that Economists usually take from Biology	Danny García Callejas	Septiembre de 2006
19	Perspectiva Económica sobre la demanda de combustibles en Antioquia	Elizeth Ramos Oyola Maria Victoria Cárdenas Londoño David Tobón Orozco	Septiembre de 2006
20	Caracterización económica del deporte en Antioquia y Colombia: 1998-2001	Ramón Javier Mesa Callejas Rodrigo Arboleda Sierra Ana Milena Olarte Cadavid Carlos Mario Londoño Toro Juan David Gómez Gonzalo Valderrama	Octubre de 2006
21	Impacto Económico de los Juegos Deportivos Departamentales 2004: el caso de Santa Fe De Antioquia	Ramón Javier Mesa Callejas Ana Milena Olarte Cadavid Nini Johana Marín Rodríguez Mauricio A. Hernández Monsalve Rodrigo Arboleda Sierra	Octubre de 2006
22	Diagnóstico del sector deporte, la recreación y la educación física en Antioquia	Ramón Javier Mesa Callejas Rodrigo Arboleda Sierra Juan Francisco Gutiérrez Betancur Mauricio López González Nini Johana Marín Rodríguez Nelson Alveiro Gaviria García	Octubre de 2006
23	Formulación de una política pública para el sector del deporte, la recreación y la educación física en Antioquia	Ramón Javier Mesa Callejas Rodrigo Arboleda Sierra Juan Francisco Gutiérrez Betancur Mauricio López González Nini Johana Marín Rodríguez Nelson Alveiro Gaviria García	Octubre de 2006
24	El efecto de las intervenciones cambiarias: la experiencia colombiana 2004-2006	Mauricio A. Hernández Monsalve Ramón Javier Mesa Callejas	Octubre de 2006
25	Economic policy and institutional change: a contex-specific model for explaining the economic reforms failure in 1970's Colombia	Angela Milena Rojas	Noviembre de 2006
26	Definición teórica y medición del Comercio Intraindustrial	Ana Isabel Moreno M. Héctor Mauricio Posada D	Noviembre de 2006
Borradores Departamento de Economía			
27	Aportes teóricos al debate de la agricultura desde la economía	Marleny Cardona Acevedo Yady Marcela Barrero Amortegui Carlos Felipe Gaviria Garcés Ever Humberto Álvarez Sánchez Juan Carlos Muñoz Mora	Septiembre de 2007
28	Competitiveness of Colombian Departments observed from an Economic geography Perspective	Jorge Lotero Contreras Héctor Mauricio Posada Duque Daniel Valderrama	Abril de 2009
29	La Curva de Engel de los Servicios de Salud En Colombia. Una Aproximación Semiparamétrica	Jorge Barrientos Marín Juan Miguel Gallego Juan Pablo Saldarriaga	Julio de 2009
30	La función reguladora del Estado: ¿qué regular y por qué?: Conceptualización y el caso de Colombia	Jorge Hernán Flórez Acosta	Julio de 2009
31	Evolución y determinantes de las exportaciones industriales regionales: evidencia empírica para Colombia, 1977-2002	Jorge Barrientos Marín Jorge Lotero Contreras	Septiembre de 2009
32	La política ambiental en Colombia: Tasas retributivas y Equilibrios de Nash	Medardo Restrepo Patiño	Octubre de 2009
33	Restricción vehicular y regulación ambiental: el programa "Pico y Placa" en Medellín	David Tobón Orozco Carlos Vasco Correa Blanca Gómez Olivo	Mayo de 2010

34	Corruption, Economic Freedom and Political Freedom in South America: In Pursuit of the missing Link	Danny García Callejas	Agosto de 2010
35	Karl Marx: dinero, capital y crisis	Ghislain Deleplace	Octubre de 2010
36	Democracy and Environmental Quality in Latin America: A Panel System of Equations Approach, 1995-2008	Danny García Callejas	Noviembre de 2010
37	Political competition in dual economies: clientelism in Latin America	Angela M.Rojas Rivera	Febrero de 2011
38	Implicaciones de Forward y Futuros para el Sector Eléctrico Colombiano	Duvan Fernando Torres Gómez Astrid Carolina Arroyave Tangarife	Marzo de 2011
39	Per Capita GDP Convergence in South America, 1960-2007	Danny García Callejas	Mayo de 2011
40	Efectos del salario mínimo sobre el estatus laboral de los jóvenes en Colombia	Yenny Catalina Aguirre Botero	Agosto de 2011
41	Determinantes del margen de intermediación en el sector bancario colombiano para el periodo 2000 – 2010	Perla Escobar Julián Gómez	Septiembre de 2011
42	Tamaño óptimo del gasto público colombiano: una aproximación desde la teoría del crecimiento endógeno	Camilo Alvis Cristian Castrillón	Septiembre de 2011
43	Estimación del stock de capital humano bajo la metodología Jorgenson-Fraumeni para Colombia 2001-2009	Juan David Correa Ramírez Jaime Alberto Montoya Arbeláez	Septiembre de 2011
44	Estructura de ingresos para trabajadores asalariados y por cuenta propia en la ciudad de Ibagué	José Daniel Salinas Rincón Daniel Aragón Urrego	Noviembre de 2011
45	Identificación y priorización de barreras a la eficiencia energética: un estudio en microempresas de Medellín	Juan Gabriel Vanegas Sergio Botero Botero	Marzo de 2012