

# DIVERSIFICACIÓN DE LA MATRIZ ENERGÉTICA Y USO EFICIENTE DEL RECURSO ENERGÉTICO

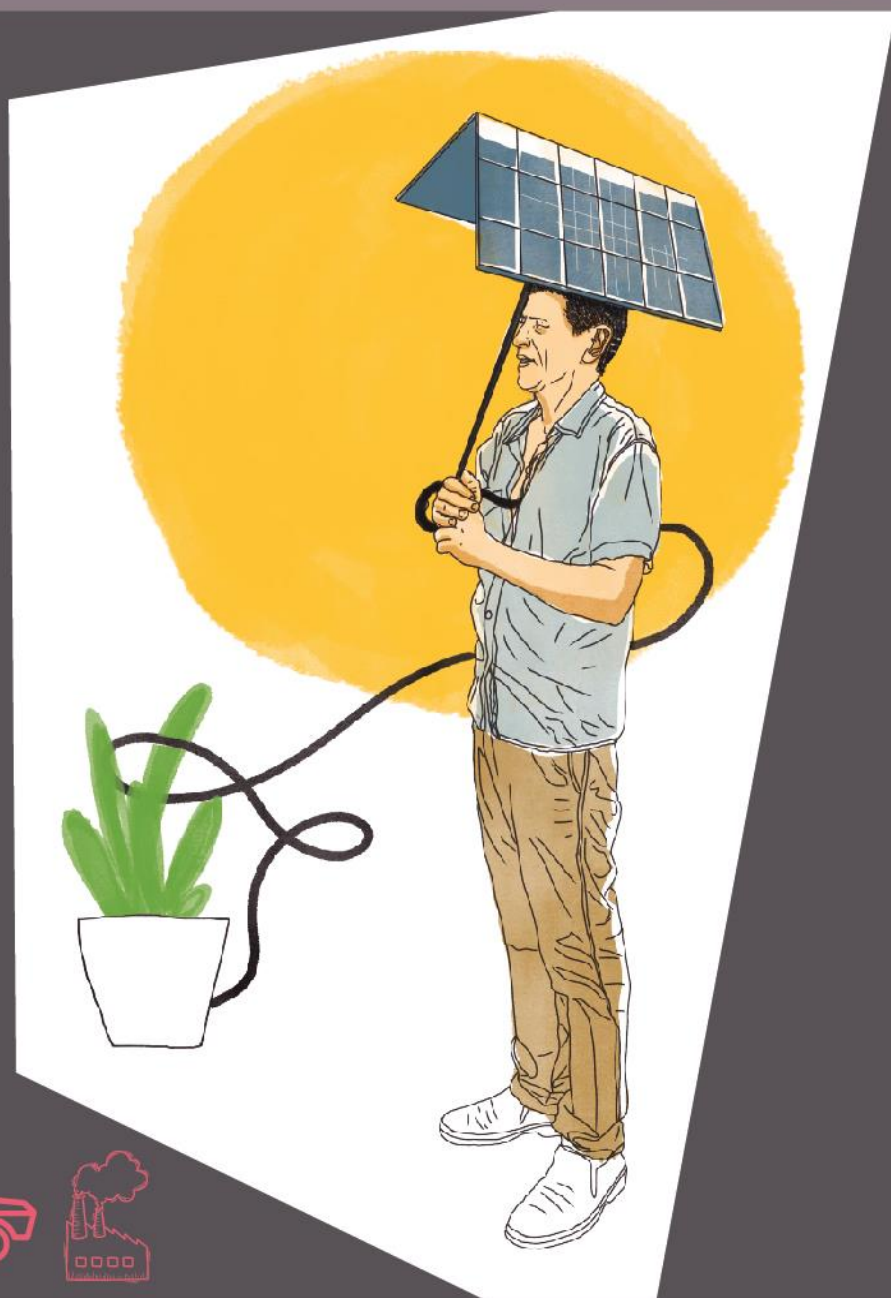
Franklin Jaramillo; Rafael Betancur y Juan Felipe Montoya

\*Centro de investigación, innovación y desarrollo de materiales – CIDEMAT

Marzo 2021



Gran acuerdo  
por Antioquia **2050**  
Línea base



# DOCUMENTOS de TRABAJO INER

Medellín, Colombia. ISSN Electrónico 2462-8506



## UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

Instituto de Estudios Regionales

ISSN 2462-8506 Edición electrónica

Universidad de Antioquia  
Instituto de Estudios Regionales  
Calle 67 No. 53 - 108  
Bloque 9 - 243  
Medellín - Colombia  
Marzo de 2021

Ilustraciones: *Laura Ospina Montoya*

Edición. *Harold Cardona, Yesenia Arboleda*  
Instituto de Estudios Regionales  
Universidad de Antioquia  
Calle 67 No. 53 - 108  
Bloque 9 - 243  
Teléfono 2195696 -2195983

Medellín - Colombia

*El Instituto de Estudios Regionales es un centro de investigación de la Universidad de Antioquia-Colombia que se dedica a investigar de manera creativa e incluyente, desde diversas disciplinas, produciendo conocimiento desde el diálogo de saberes, aportando a las políticas públicas y a la gestión para el cambio social. Articula la investigación a procesos de educación superior, formal y continua para un conocimiento socialmente pertinente con sentido crítico, fortaleciendo el compromiso ético de los estudiantes. A través de actividades de extensión contribuye y cualifica para la gestión social, promoviendo la pluralidad en la toma de decisiones y la formación en habilidades específicas de ciudadanos e instituciones.*

La presente publicación está protegida por los derechos de autor de quienes aparecen como titulares del documento. El uso del documento está permitido de manera libre y gratuita y sin ánimo de lucro; sin embargo, se exige el buen uso de la información ofrecida, no alterar su contenido y, en caso de ser empleado, hacer la debida citación de la fuente. Las visiones expresadas en esta publicación son de los autores. En ningún caso debe asumirse como una postura de INER o de la Universidad de Antioquia, tampoco de los entes financiadores.

<p><b>Cómo citar:</b> Jaramillo, F., Betancur, R., y Montoya, J. F. (2021). Diversificación de la matriz energética y uso eficiente del recurso energético. Documentos de Trabajo-INER, (22), 3-15</p>
--

## **Diversificación de la Matriz Energética y Uso Eficiente del Recurso Energético**

### **Resumen:**

El presente documento hace parte de una serie de productos derivados del proyecto de investigación: Gran acuerdo por Antioquia 2050, del contrato interadministrativo 0154 del 2018 suscrito entre el Instituto para el Desarrollo de Antioquia (IDEA) y la Universidad de Antioquia, financiado por la Gobernación de Antioquia, para realizar una serie de estudios de línea base del acuerdo por Antioquia 2050. El proyecto fue liderado por el Instituto de Estudios Regionales de la Universidad de Antioquia, con participación de grupos de investigación de la facultad de ingeniería, ciencias sociales, derecho y ciencias económicas. Los resultados del proyecto fueron documentos técnicos sobre los siguientes temas: cambio climático, cambio demográfico, reconfiguración del conflicto armado, conservación de la biodiversidad, desequilibrios en el sistema urbano regional, disparidades regionales en desarrollo, diversificación energética, Estado social de derecho y naturaleza como sujeto de derechos, estructura productiva e internacionalización, gobernanza territorial, recurso hídrico y servicios ecosistémicos. El material completo de la investigación reposa en el centro de documentación del Instituto de Estudios Regionales, el cual puede contactar al correo [cediner@udea.edu.co](mailto:cediner@udea.edu.co)

## **I. Diversificación de la Matriz Energética y Uso Eficiente del Recurso Energético.**

### **Introducción**

La gran mayoría de actividades de nuestra sociedad dependen del acceso y uso de la energía. Son grandes sectores consumidores de energía: el transporte, la industria y el sector residencial. La demanda de energía de estos sectores se suple actualmente con diversas fuentes: petróleo y derivados, gas natural, hidroelectricidad, biomasa, biocombustibles, solar, eólica, geotérmica y minería de carbón. Evidentemente, obtener la energía tiene un impacto ambiental y ante los efectos cada vez más marcados del cambio climático estamos entrando en una fase de transición energética que demanda un uso más eficiente de la energía y de los recursos naturales.

### **1. Situación actual**

La situación de demanda energética del departamento de Antioquia no difiere de la del contexto nacional. Se evidencia una alta dependencia del 69% de combustibles fósiles (petróleo y derivados, gas natural y carbón), el 17% de electricidad y el 3% de otros renovables. A su vez, la generación de electricidad está dividida en 71.9% hidroelectricidad y 28.1% termoelectricidad (mediante gas natural-carbón 27%, cogeneración 0.9%, y el resto en renovables no convencionales). Este panorama evidencia la dependencia intensiva en energía primaria hacia fuentes fósiles y en electricidad hacia las grandes hidroeléctricas. Dicha energía es principalmente consumida en Antioquia por los sectores transporte, industrial y residencial. Cabe resaltar que los sectores transporte e industrial consumen de forma intensiva combustibles fósiles (carbón, gas, petróleo) y que demandan en conjunto el 70% de la canasta energética del departamento.

La problemática de la energía tiene dos facetas igualmente relevantes: la generación y el uso.

Respecto a la generación, la geografía del departamento y la abundancia del recurso hídrico han permitido un amplio desarrollo de la hidroelectricidad. Desde la década de 1930, con las centrales de Caracolí y Guadalupe, se dio inicio a la generación masiva de hidroelectricidad. Este fenómeno ha posicionado al departamento como el mayor productor de energía eléctrica del país, y lo ha dotado de una red eléctrica robusta permitiendo la integración de nuevos proyectos eléctricos. El potencial de generación ha influenciado la política pública al punto de que muchas de las subregiones tienen entre sus planes de desarrollo la implementación de proyectos hidroeléctricos. Si bien el potencial hidroeléctrico es real, existen fenómenos climáticos, sociales y de competencia económica que revelan la inconveniencia de depender excesivamente de la hidroelectricidad. Por una parte, fenómenos climáticos como ‘el niño’ demuestran que el recurso hídrico puede tener problemas de disponibilidad, lo cual es ratificado en todos los escenarios de cambio climático (ver ficha cambio climático).

En segundo término, es innegable que en los últimos años se ha presentado una resistencia social a los proyectos hidroeléctricos, debida a tensiones por el uso del suelo y las concesiones del agua (ver fichas territoriales, cambio climático y agua). Finalmente, otras regiones del país están aumentando su participación en la canasta de generación eléctrica. Tal es el caso de la región Caribe que adelanta una apuesta hacia las energías renovables no convencionales con proyectos registrados por 3,1 GW de proyectos eólicos y 1,4 GW de proyectos solares. Estas acciones le permitirán alcanzar 5.2 GW de potencia instalada rivalizando con los 4,6 GW actuales que posee Antioquia (en esta suma no se incluyen 2,4 GW de ‘Hidroituango’ y 1,6 GW de nuevos proyectos de PCHs). En este contexto, es posible anticipar una mayor competencia en el mercado de la energía eléctrica y que Antioquia perderá su papel protagónico como el mayor productor del país. No obstante, la robustez de la red eléctrica del departamento le permite desarrollar ampliamente proyectos energéticos de diversas fuentes tanto de baja como de alta potencia.

Por otra parte, respecto al uso de la energía, en general los procesos energéticos en los diferentes sectores económicos son susceptibles de ser optimizados mediante la implementación de equipos más eficientes y mejores prácticas (ver ficha economía). Según la Unidad de Planeación Minero Energética – UPME, en el año 2015 las pérdidas de energía primaria en la matriz energética fueron

del 52%, es decir, solo un 48% fue aprovechado como energía útil. Esto demuestra que el país es ineficiente energéticamente y Antioquia no se aleja de esta realidad. Sin duda, un uso más eficiente de la energía redundaría en el crecimiento económico minimizando los impactos ambiental y social. Adicionalmente, se espera una mayor demanda de electricidad asociada a la implementación de nuevos procesos electro-intensivos particularmente en los sectores industrial (sustitución de equipos de combustión) y transporte (movilidad eléctrica).

## 2. Posible Evolución

Respecto a la generación de la energía, se plantea la necesidad de consolidarla desde otras fuentes de energía limpia. Las opciones incluyen la energía solar, eólica, mareomotriz y termoelectricidad (agrupa biomasa, geotérmica y nuclear). La siguiente tabla presenta las variables a considerar para la implementación de los nuevos proyectos energéticos\*:

**Tabla 1. Evaluación del potencial energético de Antioquia.**

Factor/Tecnología	Hidroeléctrica	Solar	Eólica	Mareomotriz	Biomasa	Geotérmica	Nuclear
Disponibilidad del recurso	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Alto	Bajo	Bajo
Factibilidad técnica y económica	Alto	Alto	Alto	Bajo	Alto	Alto	Alto
Impacto ambiental	Alto	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Alto
Impacto social	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Alto
Vulnerabilidad	Medio	Medio	Medio	Alto	Alto	Alto	Alto

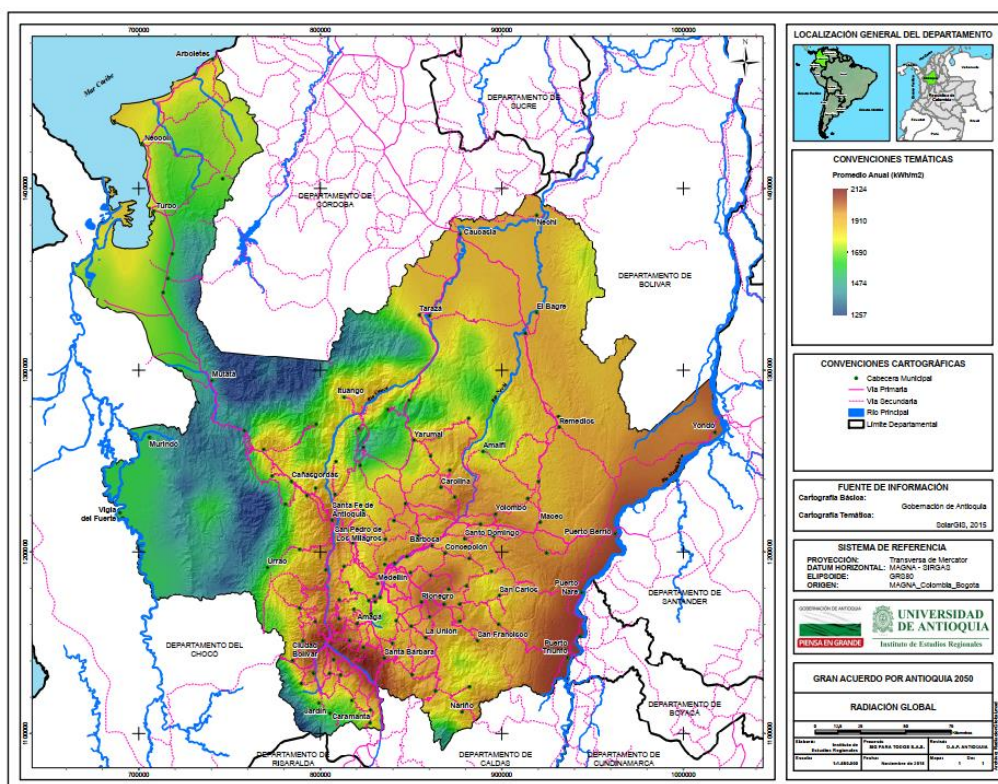
**Fuente:** elaboración propia.

Acorde con la tabla de evaluación, la energía solar sobresale como la mejor alternativa para diversificar la canasta energética del departamento. El mapa de su potencial en el departamento se muestra en la Figura 1. El departamento cuenta con un potencial de generación fotovoltaica de aproximadamente 91'000.000 GW-h/año. En contraste, el potencial hidroeléctrico es de 22 GW que equivale a solo 192.720 GW-h/año (Figura 2). El enorme potencial de la tecnología solar no

se había explotado por el alto costo que la tecnología solar fotovoltaica presentaba anteriormente; por ejemplo, al año 2010 presentaba un costo nivelado de electricidad (LCOE) de 0,35 USD/kWh mientras que para la hidroelectricidad era tan solo de 0,04 USD/kWh. Sin embargo, la generación hidroeléctrica es una tecnología madura cuyo costo se mantiene estable, con un LCOE para el año 2017 de 0,05 USD/kWh (leve incremento por inflación) mientras que la fotovoltaica ha mostrado un constante descenso del LCOE, llegando a 0.10 USD/kWh en el año 2017 y con una proyección para el año 2020 de 0.05 USD/kWh. En un escenario de precios similares, se espera un mayor crecimiento de la generación fotovoltaica dado que presenta mayor disponibilidad del recurso y menores impactos ambiental y social. Esto ya se ve reflejado en el hecho de que en el país la potencia instalada solar registrada ha aumentado exponencialmente hasta alcanzar 3.9 GW según la UPME.

Por otra parte, el departamento cuenta con un gran potencial de generación de energía desde los desechos orgánicos generados en las actividades agroindustriales y urbanos. Estos desechos se conocen comúnmente como biomasa y tienen el potencial de generar energía en forma de calor, gas y biocombustibles. Las principales fuentes en el departamento son los residuos agrícolas y los residuos pecuarios que se concentran en los territorios que se muestran en las Figuras 3 y 4, respectivamente. Adicionalmente, existe un interés creciente en los residuos urbanos para la generación de biogás y la venta de bonos de carbón.

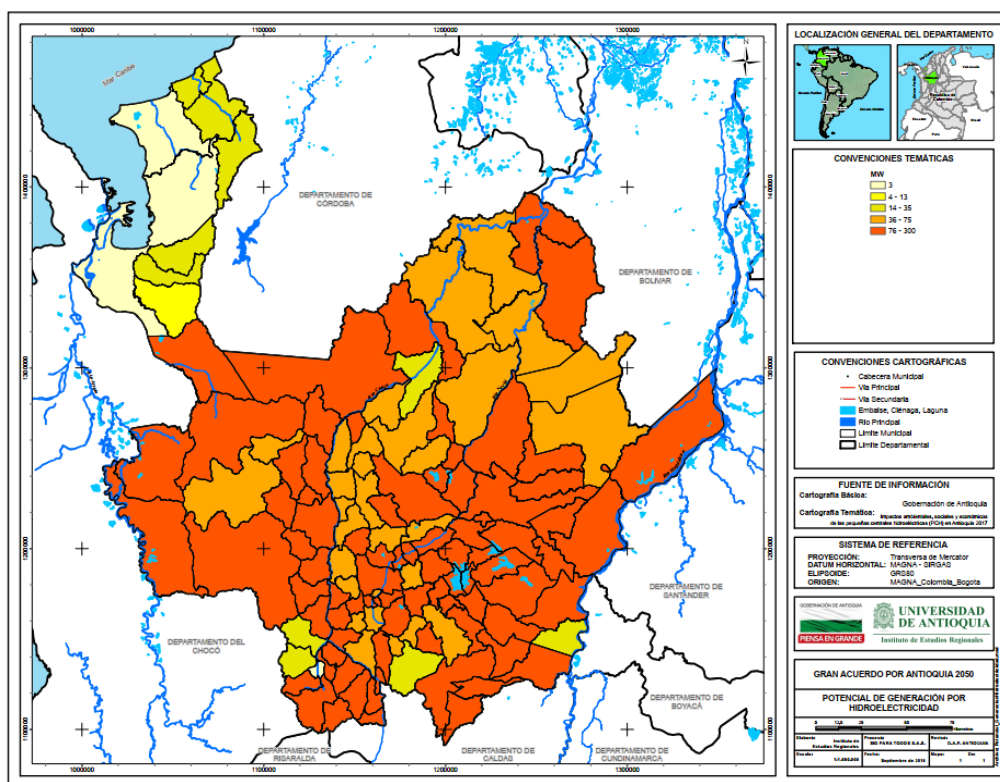
**Figura 1. Potencial de generación fotovoltaico.**



**Fuente:** SolarGIS 2015\*.

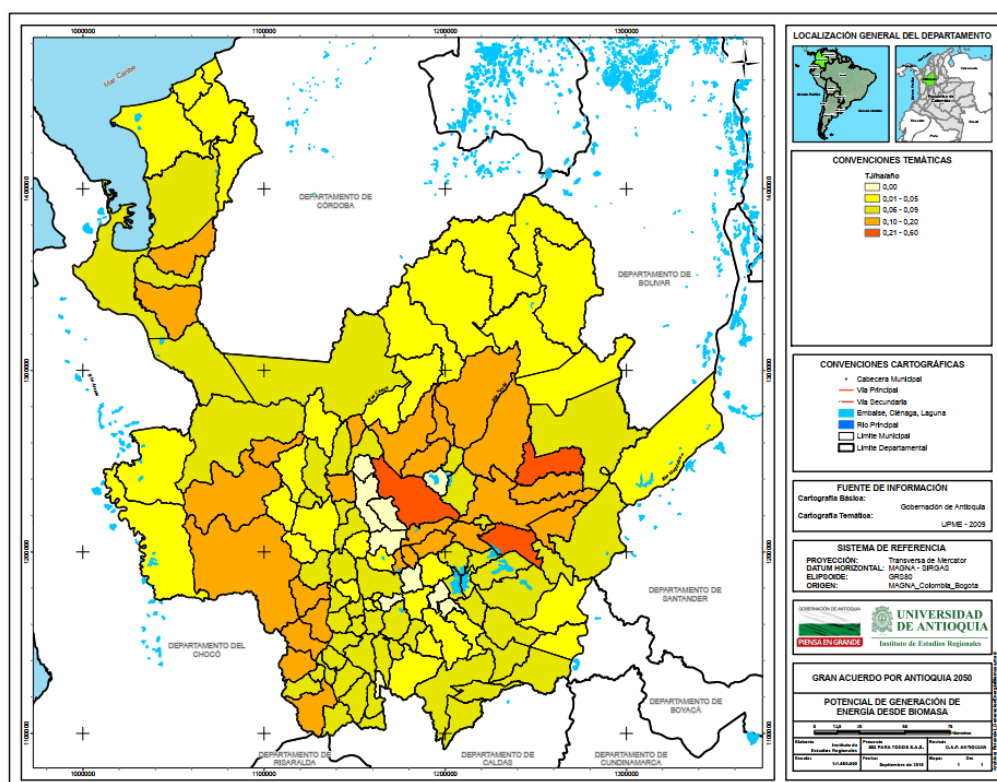


**Figura 2. Potencial de generación hidroeléctrica.**



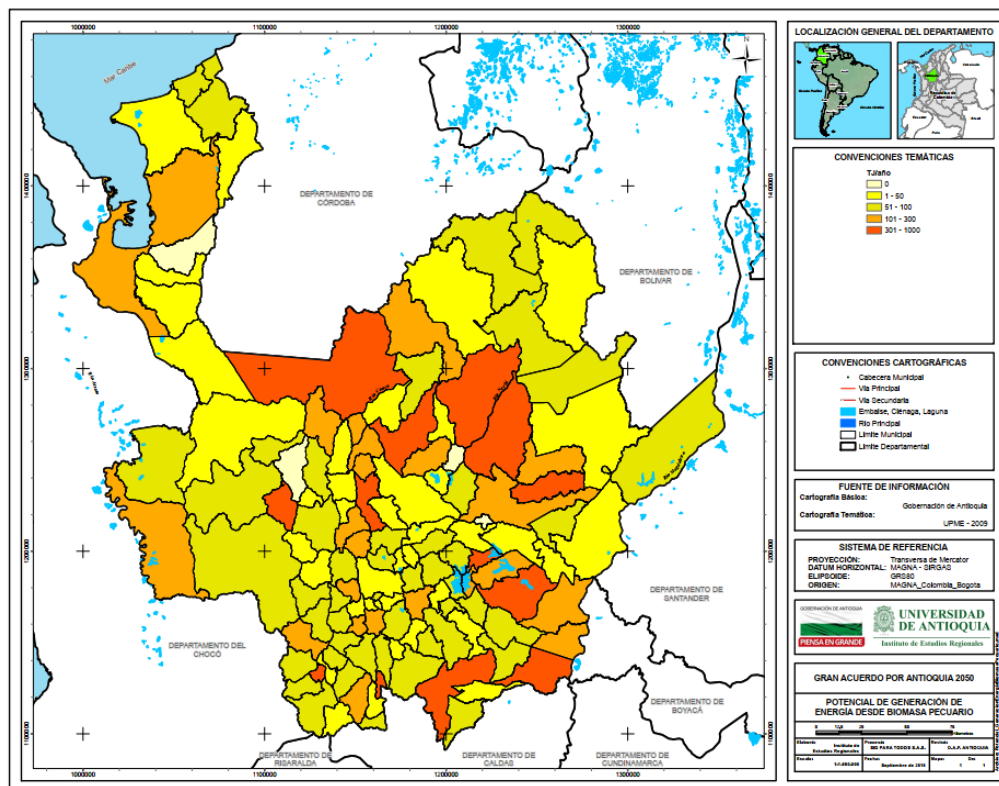
Fuente: Osorio, 2017\*.

**Figura 3. Potencial de generación por biomasa desde residuos agrícolas.**



Fuente: UPME, 2009\*.

**Figura 4. Potencial de generación por biomasa desde residuos pecuarios.**



**Fuente:** UPME, 2009\*.

Respecto al uso de la energía, se ha demostrado que el desarrollo de los países conduce a un consumo menos intensivo de energía debido a la optimización del recurso. En el país existen incentivos de ley para lograr procesos más eficientes energéticamente (ver por ejemplo el Plan De Acción Indicativo De Eficiencia Energética 2017 - 2022). Antioquia no es ajeno a este fenómeno y tanto a nivel rural como urbano se plantean diferentes estrategias en los diversos sectores económicos:

### *Transporte*

- Aumento de la incorporación de biocombustibles en el parque automotor para reducir el impacto ambiental.
- Incorporación de motores de combustión de alta eficiencia, de ahorro de combustible y bajas emisiones (Norma Euro VI).
- Implementación de sistemas de movilidad eléctrica. Esto incluye las transiciones de motores de combustible hacia motores híbridos eléctrico-combustible (HEV, *Hybrid electric vehicle*), híbridos enchufables (PHEV, *plug-in hybrid electric vehicle*) y eléctricos.

### *Industrial*

- Modernización de los equipos de combustión industrial.
- Aumento progresivo de la participación de procesos eléctricos desplazando procesos térmicos de gasificación de combustibles.
- Generación de biogás para satisfacer necesidades térmicas, por ejemplo, en procesos agrícolas, y para cogenerar electricidad.
- Generación de bonos de carbón por disminución en la emisión de gases de efecto invernadero.

### *Residencial*

- Modernización de los equipos electrodomésticos de última generación, minimizando el consumo energético.

## **2.1 Retos en generación de energía**

1. Liderazgo departamental en la transición energética progresiva para lograr la diversificación de fuentes sostenibles fundamentalmente basadas en pequeñas centrales hidroeléctricas, aprovechamiento de la biomasa y energía solar fotovoltaica.
2. Implementación de las leyes vigentes y de los decretos relacionados con fuentes no convencionales de energía (FNCE). Específicamente la ley 1715 de 2014 que promueve el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable; la resolución 045 de la UPME del 3 Febrero de 2016 que permite avalar proyectos FNCE para beneficio de exclusión de IVA y exención de gravamen arancelario y la resolución 40791 del 31 de julio de 2018 (Ministerio de Minas y Energía) que promueve la contratación a largo plazo para los proyectos de generación de energías renovables no convencionales (subasta de energía media).
3. Cobertura energética de la totalidad del territorio del departamento.
4. Acceso sostenible, con tarifas confiables, seguro, y eficiente que contribuya a la equidad social.

## **2.2 Retos para el uso de la energía**

1. Aumento en la eficiencia energética de los procesos de alta temperatura hasta llegar a un 60-70%, y en los de baja temperatura hasta un 90%. Cumpliendo estas metas se espera reducir la intensidad energética (IE) de los sectores transporte e industria hasta estándares internacionales de 0.07 kgoe/USD (kgoe: kilogramo de petróleo equivalente; USD: dólares estadounidenses).
2. Reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> entre un 20 y un 30%.

## **2.3 Indicadores para generación de energía**

1. Más del 15% de la canasta energética generada por fuentes de energía renovable no convencional.
2. Potencia de generación de nuevas plantas solares fotovoltaicas instaladas e integradas a la red o aisladas.

3. Potencia instalada de pequeñas centrales hidroeléctricas integradas a la red.
4. Toneladas de biomasa aprovechadas para generar energía a partir de subproductos agrícolas.
5. Potencia de generación energética usando biomasa, hidroelectricidad o solar fotovoltaica distribuida y/o integrada al sistema interconectado.
6. Redes inteligentes implementadas.

#### **2.4 Indicadores para uso eficiente de la energía**

1. Barriles de petróleo equivalentes de biocombustible consumidos.
2. Números de automóviles de combustión eficiente (Norma Euro VI).
3. Nuevos automóviles HEV, PHEV y eléctricos.
4. Nuevos equipos eficientes de combustión industrial.
5. Número de equipos eléctricos en procesos térmicos implementados.
6. Nuevos biodigestores instalados para el aprovechamiento térmico de biogás.
7. Nuevos bonos de carbón generados por la reducción de CO<sub>2</sub> en la optimización de procesos energéticos o por nuevas hectáreas de siembras sostenibles.
8. Número de electrodomésticos eficientes.
9. Número de viviendas con acceso a la energía.
10. Continuidad en las políticas de subsidio energético domiciliario a los estratos 1, 2 y 3.

#### **3. Actores claves para la gestión de la tendencia: \***

##### 1. Gubernamentales

CARs; ANLA; UPME; Minminas; CREG; IDEA; ANH; ANM; Alcaldías; Gobernación de Antioquia; e ICONTEC.

##### 2. Organizaciones económicas

Empresas públicas y privadas; empresas de transporte; instaladores de tecnología energética; entidades financieras; XM compañía de expertos en mercados; empresas generadoras de energía (hidráulica, solar, biomasa, térmica y eólica); empresas recolectoras de basuras; plazas de

mercado; distribuidores de combustible; estaciones de servicio de combustible y empresas que compran bonos de carbono.

3. Academia

Universidad de Antioquia; Universidad Nacional; SENA; y otras instituciones de educación superior.

4. Organizaciones sociales

Personas naturales; campesinos; comités de campesinos; organizaciones no gubernamentales; juntas de acción comunal; y grupos delincuenciales.