

# La ciencia y las comunidades aportan al futuro energético del Putumayo

En el corazón del Putumayo, donde la selva respira profundo y los ríos dictan el ritmo de la vida, la energía eléctrica no es un servicio, es una brecha que marca profundas desigualdades. Durante años, esta brecha ha existido gracias a la distancia geográfica, la fragilidad de la infraestructura y las decisiones tomadas lejos del territorio. Pero en 2024, algo empezó a cambiar. Nelly Cantillo, ingeniera de la Universidad del Rosario, tomó la palabra en un auditorio repleto de expertos y, con una invitación sencilla, “imaginen Putumayo”, abrió el camino a una transición energética que nació después de escuchar la gente en el territorio.

Por Dalia C. Barragán Barrera  
Fotos Alberto Sierra, ECI-UR  
DOI [https://doi.org/10.12804/dvcn\\_10336.47783\\_num8](https://doi.org/10.12804/dvcn_10336.47783_num8)



“... Imaginen los exuberantes paisajes y las vibrantes comunidades de Putumayo, Colombia, una región donde a menudo, la promesa de progreso se ve obstaculizada por el acceso limitado a servicios esenciales...”.

Con estas palabras, [Nelly Margareth Cantillo Cuello](#), directora y profesora del programa de [Ingeniería de Sistemas Energéticos de la Universidad del Rosario](#), inició su presentación en el [Engineering X Symposia que se llevó a cabo en abril de 2024](#) en Medellín. Se trataba de un auditorio exigente, con la presencia de ingenieros, diseñadores de políticas públicas e investigadores internacionales. Un espacio donde las cifras pesaban más que las emociones y donde, como suele suceder en los eventos sobre Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas (STEM por sus siglas en inglés), predominaban los hombres. Allí se encontraba la profesora Cantillo, una de las pocas mu-

jes del grupo de investigación [Tecnología, Ingeniería, Ciencia y Matemáticas \(TICMA\) de la Universidad del Rosario](#), en donde las mujeres son solo el 14 % del profesorado. La acompañaban los miembros del grupo y el entonces decano de la Escuela de Ciencias e Ingeniería, [Rafael Méndez Romero](#). En medio de las luces de la sala, el público expectante le pertenecía.

“Este evento se construye desde el país anfitrión; y en este caso, con Colombia como sede, el eje es la transición energética”, explicó Cantillo. “Los investigadores que participan deciden presentar o sumarse a una propuesta para volverla realidad”. A continuación, la profesora presentó un proyecto para transformar la vida de miles de personas: *Empoderando el Putumayo: enfoques sistémicos para energías renovables en educación y salud*.

“Únanse a nosotros para impulsar un cambio positivo y liberar todo el potencial del Putumayo”, fueron las palabras de Cantillo para cerrar su presentación y lograr que su proyecto fuera uno de los cinco que obtuvo financiamiento del programa [Frontiers Seed Funding](#) de la Royal Academy of Engineering del Reino Unido. Además del apoyo económico, el proyecto recibió el aval por su forma particular de hacer ciencia, aquella que no llega al territorio con soluciones prediseñadas, sino que se construye junto a sus comunidades, y convierte las inquietudes locales en el punto de partida de cualquier decisión técnica.

↑ Aunque el recurso hídrico es abundante, presenta alta variabilidad estacional, con crecidas intensas y descensos marcados, lo cual limita su uso para sistemas energéticos comunitarios estables.

### Un proyecto que nació escuchando las voces del territorio

Al terminar el simposio, se conformó un equipo interdisciplinario internacional integrado por la [Secretaría de Educación del departamento del Putumayo](#), la Universidad del Rosario y la Universidad de Antioquia por Colombia; varias entidades académicas como la Universidad de Chile, la Strathmore University de Kenia, la Linköping University y el KTH Royal Institute of Technology de Suecia y la University College London del Reino Unido. En el grupo, diverso en trayectorias y saberes, quedaron cinco mujeres y ocho hombres, entre ellos, los estudiantes rosaristas Sabina Moreno, estudiante de Ingeniería de Sistemas Energéticos; Simón Vélez, estudiante de Matemáticas Aplicadas y Ciencias de la Computación; David García y Edwin Alfaro, estudiantes de la Maestría en Energías Renovables, todos unidos por una premisa sencilla y radical: imaginar el futuro energético del Putumayo desde su mismo corazón.

En noviembre de 2024, el grupo emprendió su primera visita al Departamento y, se concentró en la capital y en el [resguardo indígena Inga de Yunguillo](#), donde trabajó con cuatro instituciones educativas y seis escuelas rurales de Mocoa. En Yunguillo, el equipo proyectó las necesidades energéticas de un futuro centro de salud, con el objetivo de que el sistema propuesto no quedara corto frente a su eventual implementación. “Teníamos datos preli-

minares del Putumayo, a partir de la iniciativa [Ruta País](#) en 2023, en la cual participó nuestro entonces decano, Méndez Romero”, cuenta Cantillo. “Pero no sabíamos aun, que aquello que estábamos construyendo iba a trascender lo técnico”.

El departamento de Putumayo ofrece notorios contrastes entre cobertura eléctrica y riqueza energética. Según el [Boletín Técnico, Cálculo del Índice de Cobertura Eléctrica ICEE 2023](#) de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) del Ministerio de Minas y Energía, su **cobertura eléctrica es del 77 %, y solo 72 % en zonas rurales. Aunque estas cifras han mejorado en los últimos años, todavía queda un número importante de hogares sin acceso a un servicio confiable, en especial, en zonas rurales**, donde la energía eléctrica suele ser inestable y costosa. Un estudio previo con base en datos del [Sistema Único de Información para Servicios Públicos Domiciliarios \(SUI\)](#), señala que las tarifas eléctricas en Putumayo superan el promedio





nacional y que, en las zonas no interconectadas, pueden llegar casi a triplicarlo.

Esta situación contrasta con la historia reciente de un Departamento vinculado con economías extractivas como el petróleo y la minería. Desde la década de 1930, estas actividades han integrado el Putumayo en la economía nacional, principalmente, como un territorio proveedor de recursos, sin que esa riqueza se haya traducido en servicios básicos estables ni en una infraestructura energética confiable para sus comunidades, de manera especial, en las zonas rurales.

El contraste se acentúa, al observar la otra cara del mismo territorio: una notable riqueza energética de fuentes renovables. El mismo estudio mencionado registra una [irradiación solar constante entre 3 y 4,5 kWh/m<sup>2</sup>/día](#) y la presencia de ríos con caudales abundantes. Sin embargo, ningún reporte técnico explica por qué una escuela queda sin luz antes de las 6 de la tarde o por qué, es un desafío garantizar los servicios básicos de salud cuando llega la noche.

Las personas que recibieron a los investigadores cuando llegaron a la zona de influencia de Mocoa y al resguardo indígena de Yunguillo, no sabían qué podían esperar del equipo internacional. En el Putumayo están acostumbrados a que los proyectos y, quienes los implementan, lleguen con diagnósticos y soluciones listas, pero suelen marcharse sin establecer un diálogo real con las comunidades o al menos, escuchar sus inquietudes.

Aquella mañana ocurrió algo muy distinto. Antes de hablar de energía, paneles solares,



Los investigadores analizaron cuánta energía podría producir un sistema de energía solar en el resguardo Yunguillo o en una escuela rural cercana. Simularon días nublados, temporadas de lluvia intensa y periodos de sombra por la vegetación.

## El departamento de Putumayo ofrece notorios contrastes entre cobertura eléctrica y riqueza energética.

modelos o baterías, los visitantes extranjeros explicaron: “Venimos a escucharlos y entender qué necesitan y si, es posible trabajar juntos”. De esta forma, se entabló un verdadero diálogo.

Durante varios días, el equipo de investigadores, en compañía de líderes locales y representantes de la comunidad, organizaron talleres participativos en escuelas y espacios comunitarios. No fueron reuniones técnicas de estilo tradicional, sino encuentros vivos, a veces, con lluvia golpeando los techos de zinc, con niños dibujando, mientras los adultos hablaban. Los mayores contaban historias sobre la forma como la energía del territorio fluye desde antes de existir cables o baterías. Los profesores hablaban de escuelas que cierran temprano por falta de luz. Una madre describió que el humo del fogón quedaba atrapado dentro de la casa y afectaba la salud de sus hijos.

Los talleres revelaron un amplio panorama muy concreto sobre las necesidades energéticas del territorio. La comunidad habló de iluminación confiable para las aulas y espacios comunales; de la urgencia de contar con ventilación adecuada para hacer más seguros y saludables los ambientes escolares; y de la importancia de disponer de energía suficiente para los equipos audiovisuales, como los computadores, herramientas esenciales para estudiantes y docentes.

En el ámbito de la salud, se enfatizó en la necesidad de un futuro centro médico con refrigeración estable para medicamentos y vacunas, como parte de las proyecciones comunitarias de atención básica. También surgió con fuerza, la demanda de alternativas de cocción más limpias para sustituir el carbón y la leña (por ejemplo: por gas natural), en los hogares y en las escuelas, en donde la preparación diaria de alimentos para los estudiantes hace parte de la

# Contexto energético del Putumayo

## Diagnóstico previo al proyecto

- La cobertura eléctrica rural del Departamento en 2023 apenas alcanzaba el 72 %.
- En las zonas con servicio, la energía suele ser inestable y costosa, con tarifas que superan los 0,17 USD/kWh, por encima del promedio nacional.
- Un estudio previo muestra que el Departamento posee un alto potencial solar, con valores de irradiación entre 3,0 y 4,5 kWh/m<sup>2</sup>/día.
- El costo nivelado de la energía solar (LCOE por sus siglas en inglés) se estima en cerca 0,10 USD/kWh, que la posiciona como una alternativa competitiva frente a las tarifas actuales.

Fuentes: Boletín Técnico – Cálculo del Índice de Cobertura Eléctrica ICEE 2023; Luna Carlosama et al. [2021]



## Resultados del proyecto “Empoderando al Putumayo” (2024–2025)

### 1-Potencial Solar:

- Irradiación total en Mocoa: 4,52 kWh/m<sup>2</sup>/día
- Irradiación difusa en Mocoa: 2,47 kWh/m<sup>2</sup>/día
- Comportamiento estacional: la irradiación se mantiene la mayor parte del año entre 4 y 5 kWh/m<sup>2</sup>/día, lo cual indica una disponibilidad solar estable para sistemas solares fotovoltaicos (paneles solares).
- Diseño de sistemas solares fotovoltaicos: 11 sistemas propuestos, diez para las instituciones educativas rurales (uno por escuela), y uno para un centro de salud proyectado para el resguardo indígena Inga de Yunguillo. Potencias estimadas entre 10 y 200 kWp, según la demanda energética de cada sitio

### 2- Potencial Hídrico

- Caudal medio anual: 485,72 m<sup>3</sup>/s
- Caudal mínimo anual: 210,54 m<sup>3</sup>/s
- Aunque el recurso hídrico es abundante, presenta alta variabilidad estacional, con crecidas intensas y descensos marcados, lo cual limita su uso para sistemas energéticos comunitarios estables.
- Por esta razón, el proyecto priorizó la energía solar como la alternativa más confiable.

### 3- Participación comunitaria en talleres:

Distribución por género

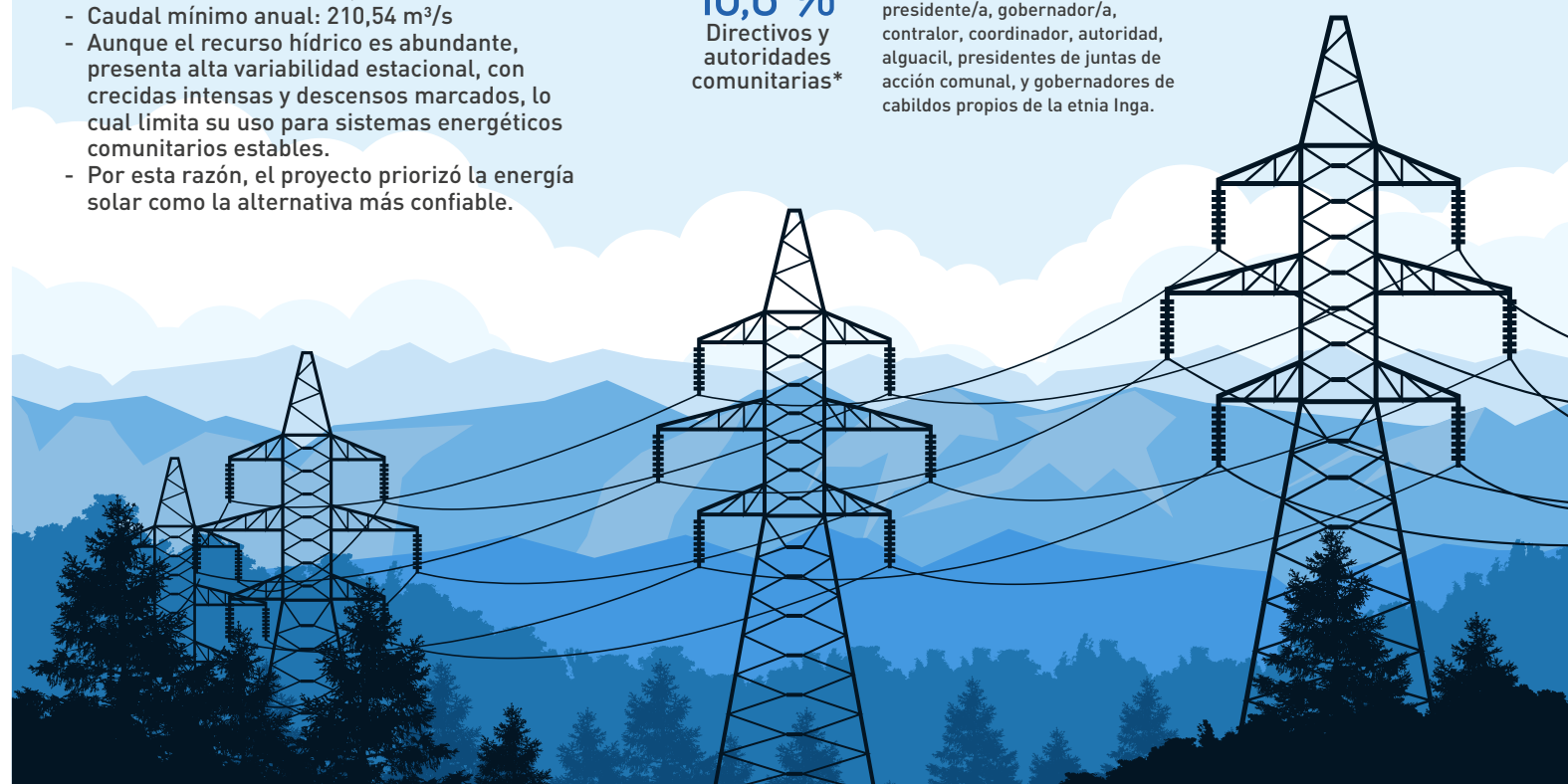
61,5 % Mujeres      38,5 % Hombres

Distribución por roles

45,2 % Estudiantes      23,1 % Madres y padres de familia      14,4 % Docentes      6,7 % Personal administrativo y de apoyo

10,6 % Directivos y autoridades comunitarias\*

\* Incluye: rector/a, director, presidente/a, gobernador/a, contralor, coordinador, autoridad, alguacil, presidentes de juntas de acción comunal, y gobernadores de cabildos propios de la etnia Inga.



**Transformar ese potencial energético en bienestar para la sociedad requiere ciencia rigurosa y, a la vez, tomar decisiones informadas por el territorio.**

rutina educativa. Aunque en varios hogares e instituciones ya se utiliza gas propano en pipetas, la fragilidad de las vías y las dificultades de distribución hacen que su suministro sea intermitente, por lo cual, la cocción diaria de alimentos es un desafío constante.

A estas necesidades se sumaron las preocupaciones estructurales: mejorar la infraestructura existente, garantizar una energía estable y mejor distribuida, y explorar opciones como la energía solar, hídrica o mecánica, según las condiciones del territorio. Cada palabra mencionada no era un concepto técnico aislado, sino un reflejo directo de las carencias y aspiraciones de la comunidad. De esta forma, cada necesidad se identificó como una historia. Cada preocupación, como un diagnóstico colectivo. Cada aspiración, como una hoja de ruta para el equipo científico.

### Un proyecto cada vez más propio

Transformar ese potencial energético en bienestar para la sociedad requiere ciencia rigurosa y, a la vez, tomar decisiones informadas por el territorio. Luego de esta primera visita, el equipo científico comenzó a procesar los datos y a diseñar diferentes escenarios. “Identificamos una irradiación total en Mocoa de 4,52 kWh/m<sup>2</sup>/día, con variaciones estacionales”, explica Cantillo. “También registramos un caudal hídrico medio anual de 485,72 m<sup>3</sup>/s. Sin embargo, su fuerte variabilidad, con crecidas intensas y descensos marcados, limita su uso para sistemas energéticos comunitarios estables, razón por la cual, priorizamos la energía solar”.

Con esa información, el equipo empleó herramientas y software especializado para simular sistemas solares fotovoltaicos (paneles solares) en contextos donde la red eléctrica es débil o inexistente. Los investigadores analizaron cuánta energía podría producir un sistema de energía solar en el resguardo Yunguillo o en una escuela rural cercana. Simularon días nublados, temporadas de lluvia intensa y periodos de sombra por la vegetación. No es lo mismo instalar un panel en una zona plana



↑ Todavía queda un número importante de hogares sin acceso a un servicio confiable, en especial, en zonas rurales, donde la energía eléctrica suele ser inestable y costosa.

que en una ladera con sombra; no es igual diseñar para una escuela que para un puesto de salud, en donde cada hora sin energía puede costar vidas.

Estas simulaciones no buscaban imponer soluciones cerradas ni definir instalaciones finales, sino explorar rangos viables y escenarios posibles que sirvieran como base para decisiones futuras construidas junto a la comunidad. Poco a poco, las historias de los talleres empezaron a dialogar con estos modelos. La ciencia comenzó a escuchar.

A partir de este proceso, el equipo formuló 11 propuestas de sistemas solares fotovoltaicos: diez asociadas a las instituciones educativas, diseñadas según la demanda estimada de cada escuela, y una con base en la proyección de equipos y necesidades operativas de un centro de salud previsto para el resguardo indígena de Yunguillo. Las potencias proyectadas varían entre 10 y 200 kWp, de acuerdo con las necesidades energéticas de cada sitio.

En julio de 2025 y, ya con estos diseños y datos preliminares, el equipo regresó al territorio para validar las decisiones con la comunidad. No se habló solo de tecnología, sino de sostenibilidad. ¿Quién daría mantenimiento a los equipos? ¿Quién velaría por su continuidad? ¿Cómo impedir que, como tantos sistemas instalados en zonas rurales, quedaran abandonados a los pocos años? Las respuestas no estaban en manuales. Estaban en la organización territorial.

Se discutió la creación de comités locales de energía, la producción de materiales pedagógicos, alianzas con instituciones educativas y estrategias para involucrar los jóvenes como futuros gestores del sistema. Porque, si la energía iba a durar, debía ser apropiada culturalmente, comprendida socialmente (no solo técnicamente), y mantenida localmente.

“Hoy estamos buscando nuevos recursos para implementar esta propuesta”, señala Cantillo. “Lo que tenemos es un puente sólido



↑ Nelly Margareth Cantillo Cuello, directora y profesora del programa de Ingeniería de Sistemas Energéticos de la Universidad del Rosario.

entre la ciencia dura y los saberes del territorio. Ahora necesitamos implementarlo, volverlo realidad”.

### Un cierre que no cierra

El proyecto concluyó formalmente en noviembre de 2025. Quedaron los diseños de los sistemas solares fotovoltaicos, informes, simulaciones, propuestas y cartillas. Pero lo que verdaderamente permanece, no cabe en un documento, esto es la posibilidad de decidir colectivamente el futuro energético del Putumayo.

Hoy, cuando la profesora Cantillo piensa en las escuelas de Yunguillo, no piensa solo en lo que falta. Piensa en las posibilidades: paneles solares que podrían instalarse, redes que podrían fortalecerse, jóvenes que podrían aprender a operar un sistema energético solar, escuelas rurales donde la energía no dependa de la suerte.

En un país donde las brechas energéticas suelen ser también brechas de dignidad, esta experiencia demuestra que la transición energética justa no comienza en un laboratorio ni en una sala de conferencias, sino en una conversación honesta y franca con quienes habitan los territorios. Y en esta conversación, la voz de una ingeniera (una de las pocas mujeres en un campo dominado por hombres), abrió una puerta que permanecerá abierta. ■