

IMPLEMENTACIÓN Y FOCALIZACIÓN TERRITORIAL DEL PROGRAMA COLOMBIA SOLAR EN EL DEPARTAMENTO DE ARAUCA

El presente capítulo desarrolla la estrategia de implementación y focalización territorial del Programa Colombia Solar en el departamento de Arauca, sobre el universo de usuarios residenciales de estratos 1, 2 y 3 atendidos por la Empresa de Energía de Arauca — ENELAR ESP — en la totalidad de los siete municipios del departamento. Su propósito es definir, con base en criterios técnicos, sociales y territoriales, las áreas prioritarias de intervención, la población beneficiaria potencial y los resultados energéticos esperados derivados de la instalación de soluciones solares fotovoltaicas residenciales conectadas al Sistema Interconectado Nacional (SIN).

La construcción de este diagnóstico parte de una aproximación integral al territorio araucano, articulando información proveniente del Sistema Único de Información (SUI) — reporte de abril de 2026 — y los lineamientos establecidos en el marco normativo del Programa Colombia Solar, particularmente el Decreto 0972 de 2025 y su metodología nacional de focalización departamental. La caracterización de consumos individuales se complementará con los formatos TC1 y TC2 de los operadores en la fase de focalización detallada, dado que el reporte SUI disponible registra la distribución de suscriptores por municipio y estrato sin desagregación de consumo unitario por usuario en este nivel.

La focalización de Arauca responde a la confluencia de varios factores estructurales: el elevado recurso solar de la región de los Llanos Orientales, con valores de irradiación superiores a 4,5 kWh/m²/día; la muy alta concentración de usuarios en estrato 1 (73,8 % del universo total — la más elevada entre los departamentos analizados en el Programa Colombia Solar); los rezagos históricos de pobreza multidimensional en la región Orinoquía-Amazónica; y las limitaciones estructurales del sistema eléctrico local, con episodios recurrentes de racionamiento y baja confiabilidad del suministro. Estos factores configuran un escenario de alta prioridad para la expansión de soluciones energéticas distribuidas de autoconsumo residencial.

1 Contexto departamental y territorial

1.1 Generalidades del departamento

El departamento de Arauca se localiza en el nororiente de Colombia, en la región de la Orinoquía o Llanos Orientales, limitando al norte y al este con Venezuela (Estado Apure), al sur con Vichada y Casanare, y al oeste con Boyacá y Norte de Santander. Con una extensión de aproximadamente 23.818 km², el departamento alberga a cerca de 340.000 habitantes (proyecciones DANE 2025) distribuidos en siete municipios: Arauca (capital), Arauquita, Cravo Norte, Fortul, Puerto Rondón, Saravena y Tame.

El territorio araucano presenta una geografía de sabanas inundables (Llanos) atravesadas por el río Arauca — que marca la frontera con Venezuela — y por los ríos Casanare, Arauca y Cravo Norte. La economía departamental se sustenta en la extracción de hidrocarburos (campo Caño Limón), la ganadería extensiva, la agricultura (palma de aceite, arroz, maíz) y el comercio fronterizo. El departamento es uno de los mayores productores de petróleo del país, lo que contrasta con las condiciones de pobreza multidimensional que persisten en una proporción significativa de su población.

El universo analizado en el presente capítulo corresponde a la totalidad de los municipios del departamento atendidos por ENELAR ESP, constituyendo así el análisis de cobertura departamental más completo en términos de la relación universo SUI / municipios del departamento.

1.2 Condiciones climáticas y potencial solar

El departamento de Arauca, ubicado en los Llanos Orientales colombianos, presenta condiciones de radiación solar favorables para la generación fotovoltaica. De acuerdo con el Atlas de Radiación Solar de Colombia elaborado por el IDEAM y la UPME, la región de la Orinoquía registra valores de irradiación global horizontal superiores al promedio nacional, posicionando a Arauca como un departamento con alto potencial para la implementación de sistemas solares fotovoltaicos residenciales.

- Radiación solar promedio: superior a 4,5 kWh/m²/día en toda la extensión departamental, con valores que pueden alcanzar 5,0 kWh/m²/día en las zonas de sabana abierta del piedemonte y la llanura aluvial. [IDEAM / UPME Atlas Solar]

- Horas Solares Pico (HSP) de planeación: 4,5 h/día, valor conservador consistente con criterios para infraestructura residencial en zonas de los Llanos Orientales con régimen bimodal de lluvias. [IDEAM / UPME]
- Comparación nacional: el promedio del SIN se sitúa en torno a 4,5 kWh/m²/día. Arauca se ubica en el rango medio-alto del recurso solar nacional, equivalente a departamentos como Meta y Casanare. [UPME]
- Estabilidad estacional: el régimen bimodal de la Orinoquía implica una temporada seca (diciembre–marzo) de alta irradiación y una temporada lluviosa (abril–noviembre) de producción moderada pero sostenida, lo que asegura generación fotovoltaica a lo largo del año.

1.3 Caracterización de la demanda residencial

Con base en el reporte del Sistema Único de Información (SUI) correspondiente a abril de 2026, el universo de usuarios residenciales de estratos 1, 2 y 3 atendidos por ENELAR ESP en los siete municipios de Arauca asciende a 96.461 suscriptores. La distribución por estrato evidencia la mayor concentración de estrato 1 entre los departamentos analizados en el Programa Colombia Solar, reflejando las condiciones estructurales de vulnerabilidad socioeconómica del territorio araucano:

- Estrato 1 (Bajo-Bajo): 71.188 usuarios — 73,8 % del universo. Esta proporción, la más alta de los departamentos incluidos en el Programa, indica una predominancia de hogares en condición de pobreza y baja capacidad de pago del servicio eléctrico.
- Estrato 2 (Bajo): 20.348 usuarios — 21,1 % del universo.
- Estrato 3 (Bajo-Medio): 4.925 usuarios — 5,1 % del universo.
- Distribución territorial: el municipio de Arauca (capital) concentra el 31,4 % del universo (30.335 usuarios), seguido por Tame (20,6 %) y Saravena (19,1 %), configurando estos tres municipios el núcleo de mayor densidad de beneficiarios potenciales del programa.
- Nota metodológica: el reporte SUI de abril de 2026 registra el tipo de usuario como 'SIN DATO', lo que indica que los datos de consumo unitario (kWh/suscriptor) por estrato no se encuentran desagregados en el reporte disponible. La caracterización detallada del consumo promedio por usuario se realizará a través de los formatos TC1 y TC2 de ENELAR ESP en la fase operativa de focalización, conforme a la metodología del Decreto 0972 de 2025.

1.4 Pobreza monetaria y pobreza energética multidimensional

El departamento de Arauca registra una reducción estadísticamente significativa de su Índice de Pobreza Multidimensional (IPM) entre 2023 y 2024. De acuerdo con el boletín técnico del DANE publicado en abril de 2025, el departamento pasó de 22,8 % en 2023 a 17,7 % en 2024, lo que representa una disminución de 5,1 puntos porcentuales, siendo una de las mayores reducciones departamentales del período:

- IPM departamental Arauca 2024: 17,7 % (frente al 22,8 % de 2023, reducción de 5,1 p.p. estadísticamente significativa). [DANE / ECV 2024]
- IPM cabeceras Arauca 2024: 17,4 % (frente al 20,7 % de 2023).
- IPM centros poblados y rural disperso Arauca 2024: 18,3 % (frente al 26,6 % de 2023, reducción de 8,3 p.p., estadísticamente significativa).
- IPM región Orinoquía-Amazonía 2024: 20,3 % (frente al 24,1 % de 2023). Arauca se ubica por debajo del promedio regional.
- IPM nacional 2024: 11,5 %.

A pesar de los avances, Arauca mantiene niveles de pobreza multidimensional superiores a la media nacional en 6,2 puntos porcentuales, con privaciones estructurales en logro educativo, empleo formal y acceso a agua mejorada que son características de la región. En el contexto del Programa Colombia Solar, la pobreza energética multidimensional del departamento se manifiesta en: (i) la alta proporción de usuarios en estrato 1 (73,8 %), cuyos ingresos destinan una fracción significativa al pago del servicio eléctrico; (ii) los episodios recurrentes de racionamiento eléctrico por limitaciones del sistema de transmisión local; y (iii) la existencia de zonas rurales no interconectadas (ZNI) en veredas de Cravo Norte y otros municipios, donde ENELAR ESP ya ha ejecutado proyectos piloto con soluciones solares fotovoltaicas.

2 Justificación de la focalización de Arauca en el Programa Colombia Solar

La selección de Arauca para la intervención del Programa Colombia Solar se sustenta en la convergencia de los siguientes factores estructurales:

- Mayor proporción de estrato 1 del universo analizado (73,8 %), garantizando el máximo impacto social posible por usuario instalado en el universo ENELAR ESP.
- Recurso solar superior a 4,5 kWh/m²/día (HSP de planeación: 4,5 h/día), que asegura producción fotovoltaica competitiva en condiciones de los Llanos Orientales.
- Antecedentes de racionamiento eléctrico y baja confiabilidad del suministro, que hacen del autoconsumo fotovoltaico una solución con doble impacto: reducción de la factura y mejora de la resiliencia energética del hogar.
- Presencia de ENELAR ESP como operador único en los siete municipios, lo que simplifica la coordinación operativa y técnica del programa (un solo interlocutor, cobertura departamental completa).
- Antecedentes exitosos de ENELAR ESP en implementación de soluciones solares fotovoltaicas en ZNI (Cravo Norte — vereda La Esperanza), que acreditan la capacidad técnica local para el despliegue.
- IPM 2024 de 17,7 % — significativamente superior al promedio nacional (11,5 %) — con privaciones persistentes que el Programa Colombia Solar puede incidir directamente mediante reducción de la carga tarifaria.

2.1 Variables de focalización aplicadas

La metodología nacional de focalización departamental (PTD) del Decreto 0972 de 2025 pondera cinco criterios: IPM, IPEM, CU, %PTU y HSP. Arauca obtiene puntajes muy elevados en %PTU estrato 1 e IPM relativo, y un puntaje medio en HSP (Llanos, levemente inferior al Caribe). Para la priorización intramunicipal se aplicarán adicionalmente las variables disponibles en los formatos TC1 y TC2 de ENELAR ESP en la fase operativa.

3 Metodología de construcción de la selección muestral

3.1 Integración y depuración de bases de datos

La selección muestral se construyó con base en las siguientes fuentes de información, procesadas y normalizadas conforme a los criterios del Programa Colombia Solar:

- Reporte SUI abril 2026 — Distribución de suscriptores residenciales de estratos 1, 2 y 3 por municipio, suministrado por ENELAR ESP (código 599). Incluye conteo de usuarios por estrato; el consumo unitario (TC2) será obtenido directamente del operador en la fase operativa.
- Marco normativo del Decreto 0972 de 2025: umbrales de elegibilidad, criterios de estratificación, consumo de subsistencia y metodología de focalización.
- Información institucional de ENELAR ESP: cobertura municipal, capacidad del sistema de distribución, proyectos de electrificación rural y antecedentes de barrios subnormales formalizados.
- Fuentes estadísticas oficiales: DANE (IPM 2024), UPME-IDEAM (Atlas Solar), DANE (proyecciones de población 2025).

3.2 Fórmula del score de priorización municipal

Dado que el universo analizado corresponde a escala municipal, el score multifactorial se aplica a nivel de municipio con la siguiente fórmula:

$$\text{Score} = (n_{\text{municipio}} / \max(n_{\text{municipio}})) \times (\%E1 / 100)$$

Donde:

- $n_{\text{municipio}}$: número total de usuarios elegibles (estratos 1, 2 y 3) del municipio.
- $\max(n_{\text{municipio}})$: máximo entre todos los municipios del universo ENELAR ESP = 30.335 (municipio de Arauca).
- %E1: porcentaje de usuarios de estrato 1 dentro del municipio.

En la fase operativa, el score se enriquecerá con el índice de Focalización (IF) a nivel de usuario individual, derivado de los formatos TC1 y TC2 de ENELAR ESP, siguiendo la metodología del Entregable 4 del Programa Colombia Solar.

3.3 Criterios complementarios de selección y priorización

Criterios técnicos:

- Viabilidad de conexión al SIN: disponibilidad y capacidad del transformador asociado al predio del usuario.
- Condiciones de infraestructura predial compatibles con la instalación del SSFV (techumbre apta, área disponible para módulos e inversor).
- Consumo objetivo alineado con el dimensionamiento de subsistencia (173 kWh/mes para altitudes < 1.000 m.s.n.m., aplicable a la totalidad de los municipios araucanos).

Criterios socioeconómicos:

- Estrato 1, 2 o 3 confirmado en registro SUI (TC1 de ENELAR ESP).
- Hogares en condición de pobreza energética: alta proporción del ingreso destinada al servicio de energía eléctrica.
- Usuarios en barrios subnormales formalizados por ENELAR ESP (Saravena, Arauca y otros municipios).

Criterios territoriales:

- Concentración de usuarios por municipio y zona de servicio del operador.
- Cobertura SIN confirmada en los registros SUI de ENELAR ESP.
- Accesibilidad operativa para AOM (operación y mantenimiento) de los sistemas SSFV instalados.

3.4 Construcción de la muestra y universo de intervención

- Total de usuarios analizados (SUI abril 2026): 96.461.
- Universo potencial de beneficiarios (estratos 1, 2 y 3): 96.461.
- Distribución por estrato: 73,8 % E1, 21,1 % E2, 5,1 % E3.
- Total de municipios cubiertos: 7 (Arauca, Arauquita, Cravo Norte, Fortul, Puerto Rondón, Saravena, Tame) — cobertura departamental completa.
- Operador único: ENELAR ESP (Empresa de Energía de Arauca, código SUI 599).

4 Distribución territorial de los usuarios beneficiarios

4.1 Distribución por municipio

Los 96.461 usuarios elegibles del universo ENELAR ESP se distribuyen en los siete municipios del departamento de Arauca. Los tres municipios más poblados (Arauca, Tame y Saravena) concentran el 71,1 % del universo total. Arauquita destaca por registrar la mayor proporción de estrato 1 entre los municipios de mayor volumen (90,0 %).

Tabla [X].1 Distribución de usuarios por municipio — Departamento de Arauca

Municipio	E1	E2	E3	Total, Usuarios	%E1
Arauca	19.973	8.382	1.980	30.335	65,8 %
Tame	13.595	4.119	2.194	19.908	68,3 %
Saravena	12.542	5.200	683	18.425	68,1 %
Arauquita	14.837	1.599	46	16.482	90,0 %
Fortul	7.867	636	16	8.519	92,3 %
Puerto Rondón	1.544	62	0	1.606	96,1 %
Cravo Norte	830	350	6	1.186	69,9 %
TOTAL, DEPARTAMENTO	71.188	20.348	4.925	96.461	73,8 %

Fuente: Sistema Único de Información (SUI) — Reporte abril 2026. ENELAR ESP. Elaboración propia.

4.2 Ranking de municipios por score de priorización

A nivel municipal, la priorización aplicando la fórmula de la sección [X].3.2 produce el siguiente orden. Arauca y Arauquita combinan el mayor volumen o la más alta concentración de estrato 1, respectivamente, seguidos de Tame y Saravena. Fortul, Cravo Norte y Puerto Rondón presentan menores volúmenes absolutos, pero con proporciones de estrato 1 superiores al 70 %, lo que justifica una atención complementaria en fases posteriores del despliegue.

Tabla [X].2 Ranking de municipios por score multifactorial

#	Municipio	Usuarios Elegibles	%E1	Score
1	Arauca	30.335	65,8 %	0,658
2	Arauquita	16.482	90,0 %	0,489
3	Tame	19.908	68,3 %	0,448
4	Saravena	18.425	68,1 %	0,413
5	Fortul	8.519	92,3 %	0,259
6	Puerto Rondón	1.606	96,1 %	0,051
7	Cravo Norte	1.186	69,9 %	0,027

Fuente: Elaboración propia con base en SUI abril 2026 (ENELAR ESP). Score = (n_municipio / 30.335) × (%E1 / 100).

4.3 Concentración y características del universo beneficiario

- Los cuatro municipios con mayor score (Arauca, Arauquita, Tame y Saravena) agrupan 85.150 usuarios, equivalentes al 88,3 % del universo total.
- Puerto Rondón y Fortul presentan las mayores proporciones de estrato 1 del departamento (96,1 % y 92,3 % respectivamente), indicando alta vulnerabilidad socioeconómica, aunque su volumen absoluto es menor.
- Arauquita registra la segunda mayor proporción de estrato 1 entre los municipios de volumen significativo (90,0 % con 16.482 usuarios), configurándose como municipio de alta prioridad tanto por volumen como por vulnerabilidad.
- ENELAR ESP ha identificado barrios subnormales formalizados en Saravena (1.525 familias) y en otros municipios, cuyos usuarios representan un subconjunto de alta prioridad dentro del universo elegible.

5 Etapa de priorización operativa

La priorización operativa define el orden de implementación del Programa Colombia Solar en el universo de ENELAR ESP. Se aplican tres criterios complementarios:

- Priorización por capacidad técnica: municipios con mayor capacidad disponible en transformadores de distribución y menor restricción operativa de red, según los reportes de ENELAR ESP. La reciente puesta en operación de la Subestación Puerto Nidia y la línea Tame–Puerto Nidia (34,5 kV) amplía la capacidad disponible en Tame y Fortul para la conexión de nuevos SSFV.
- Priorización por impacto social: los cuatro municipios con mayor score (Arauca, Arauquita, Tame y Saravena) deben ser atendidos en las fases iniciales del despliegue por su combinación de volumen y vulnerabilidad. Arauquita, con 90 % de estrato 1, merece atención prioritaria por su perfil de alta vulnerabilidad.
- Priorización por resiliencia energética: municipios con mayor historial de racionamiento y cortes de suministro (Arauca, Arauquita) se benefician adicionalmente de la generación distribuida como mecanismo de reducción de la dependencia de la red centralizada, especialmente en horas pico de consumo.

La primera fase de ejecución se recomienda en Arauca (capital, mayor volumen y capacidad logística), seguida de Arauquita y Saravena. Tame, respaldada por la nueva infraestructura eléctrica, conformaría la tercera fase. Fortul, Cravo Norte y Puerto Rondón, dada su menor densidad urbana, se integrarían en fases complementarias con estrategias de instalación adaptadas a la dispersión territorial.

6 Proyección energética del programa en el departamento

6.1 Capacidad instalada proyectada

La proyección energética se calculó dimensionando una solución solar fotovoltaica individual capaz de cubrir el consumo básico de subsistencia (173 kWh/mes para altitudes inferiores a 1.000 m.s.n.m.), aplicable a la totalidad de los municipios araucanos dado que todos se encuentran por debajo de ese umbral altitudinal. Los parámetros de diseño son los siguientes:

- Horas Solares Pico (HSP) de planeación: 4,5 h/día. [IDEAM / UPME Atlas Solar — región Orinoquía]
- Performance Ratio (PR) técnico: 0,80 (típico residencial sin almacenamiento).
- Energía mensual objetivo por usuario: 173 kWh (umbral de subsistencia UPME, altitud < 1.000 m.s.n.m.).
- Potencia pico requerida por usuario: 1,60 kWp.
- Total de sistemas fotovoltaicos: 96.461.
- Potencia total proyectada en el universo ENELAR ESP: 154,3 MWp.
- Factor de capacidad esperado: 15,0 %.

Memoria de cálculo: $P_{\text{usuario}} = E_{\text{mes}} / (HSP \times 30 \times PR) = 173 / (4,5 \times 30 \times 0,80) = 1,60 \text{ kWp}$. Potencia total = $1,60 \times 96.461 / 1.000 = 154,3 \text{ MWp}$.

6.2 Impacto sobre el consumo residencial

- Consumo objetivo por usuario: 173 kWh/mes (umbral de subsistencia UPME para altitudes < 1.000 m.s.n.m.).
- Cobertura del consumo de subsistencia: el sistema SSFV dimensionado cubre la totalidad del consumo básico de los hogares beneficiarios. Los datos de consumo promedio observado por estrato serán caracterizados mediante formatos TC1 y TC2 de ENELAR ESP en la fase operativa, lo que permitirá ajustar el dimensionamiento individual.
- Impacto sobre pobreza energética: la alta proporción de estrato 1 (73,8 %) implica que la mayoría de beneficiarios tiene una alta sensibilidad al alivio tarifario; la reducción o eliminación de la factura eléctrica libera recursos significativos en hogares de bajos ingresos.
- Resiliencia energética: en un departamento con antecedentes de racionamiento y baja confiabilidad del suministro, la generación fotovoltaica distribuida on-grid proporciona energía durante las horas solares con independencia parcial de la red centralizada.
- Impacto sobre el IPEM: incidencia directa sobre las dimensiones 'Acceso a energía eléctrica y preparación de alimentos' y 'Vivienda funcional' del Índice de Pobreza Energética Multidimensional.

7 Resultados esperados — síntesis

La implementación del Programa Colombia Solar en el universo de ENELAR ESP en el departamento de Arauca (siete municipios — cobertura departamental completa) permitirá:

- Atender a 96.461 usuarios de estratos 1, 2 y 3 en los siete municipios del departamento.
- Desplegar una capacidad instalada agregada de 154,3 MWp — la mayor entre los departamentos analizados en esta etapa del Programa Colombia Solar.
- Generar aproximadamente 200 GWh/año de energía solar fotovoltaica.
- Cubrir el 100 % del consumo básico de subsistencia (173 kWh/mes) de los hogares beneficiarios.
- Evitar la emisión de aproximadamente 32.649 tCO₂/año y 816.225 tCO₂ acumuladas durante 25 años (factor de emisión de referencia: 0,163 tCO₂/MWh, SIN — UPME).
- Reducir progresivamente la carga del FSSRI asociada a los estratos 1, 2 y 3 del universo ENELAR ESP del departamento.
- Fortalecer la resiliencia energética del departamento de Arauca, reduciendo la dependencia de la red centralizada durante las horas solares y disminuyendo el impacto de los episodios de racionamiento sobre los hogares beneficiarios.
- Contribuir al cierre de brechas del IPM departamental (17,7 % en 2024, frente al 11,5 % nacional) mediante la mejora en las dimensiones de vivienda y servicios públicos.

Notas técnicas:

- Las HSP utilizadas son de planeación; la operación efectiva se medirá conforme a la regulación que expida la CREG para medición y liquidación de SSFV residenciales.
- El dimensionamiento se realizó sin almacenamiento (esquema on-grid), conforme al alcance del Programa Colombia Solar.
- El factor de emisión de referencia para el SIN puede ser actualizado por la UPME; las cifras aquí presentadas son indicativas.
- Los datos de consumo por suscriptor (TC2) serán obtenidos directamente de ENELAR ESP en la fase operativa para refinar la selección de beneficiarios y el dimensionamiento individual de los SSFV.

Anexo. Fuentes de información consultadas

Fuentes primarias (bases de datos SUI):

- reportArauca_analizado.xlsx — Datos SUI abril 2026, departamento de Arauca. Hoja 'Análisis abril 2026': distribución de suscriptores residenciales estratos 1, 2 y 3 por municipio. Elaboración Grupo de Datos, Programa Colombia Solar, DEE-MME, 2026. Aporta: universo de usuarios y distribución estratal por municipio.

Fuentes normativas e institucionales:

- Decreto 0972 de 2025 (Ministerio de Minas y Energía). Aporta: creación del Programa Colombia Solar, metodología de focalización (%PTD), umbrales de elegibilidad, consumo de subsistencia y criterios técnicos.
- Memoria justificativa de la Resolución del Programa Colombia Solar, MME, octubre de 2025. Aporta: metodología de focalización departamental, criterios técnicos y operativos.
- ENELAR ESP — Gobernación de Arauca (2023-2025): reportes de gestión, proyectos de ampliación de cobertura en ZNI y subestaciones eléctricas. Disponible en: <https://arauca.gov.co>. Aporta: contexto operativo, cobertura municipal y antecedentes de proyectos fotovoltaicos en el departamento.

Fuentes estadísticas oficiales:

- DANE (2025): Boletín técnico Pobreza Multidimensional 2024, publicado el 22 de abril de 2025. Aporta: IPM departamental Arauca 2023-2024, comparativos regionales (Orinoquía-Amazónía) y nacionales. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/files/operaciones/PM/bol-PMultidimensional-2024.pdf>
- IDEAM / UPME: Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia. Aporta: valores de irradiación global horizontal y HSP para la región Orinoquía / departamento de Arauca. Disponible en: <https://bdigital.upme.gov.co/handle/001/1236>
- DANE (2025): Proyecciones de población departamental 2025. Aporta: estimaciones de población del departamento de Arauca para contextualización territorial.