

La explosión solar en Colombia

Camilo González Posso

- Proyecto de investigación sobre crisis climática y transición de energías
- Julio de 2023
- Ingeniero Químico, Magister en Economía, Especialista en Ciencias de la Complejidad,
- Presidente de Indepaz

La explosión solar en Colombia

Proyecto de investigación sobre crisis climática y transición de energías

Camilo González Posso¹

Julio de 2023

Contacto: camilogonzalezposso@gmail.com

¹ Ingeniero Químico, Magister en Economía, Especialista en Ciencias de la Complejidad, Presidente de Indepaz

Contenido

INTRODUCCIÓN	7
PANORAMA INTERNACIONAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES	9
LOS MINERALES CRÍTICOS PARA LA TRANSICIÓN CON ENERGÍAS RENOVABLES	13
ENERGÍA SOLAR EN LA MATRIZ DE ENERGÍA EN COLOMBIA	19
PANORAMA DE LA ENERGÍA SOLAR EN COLOMBIA 2023 – 2050	21
GEOGRAFÍA DE LOS PROYECTOS DE ENERGÍA SOLAR	22
ESCALA DE LOS PROYECTOS Y PRINCIPALES EMPRESAS EN ENERGÍA SOLAR	25
RETOS DE LA EXPLOSIÓN DE ENERGÍA SOLAR EN COLOMBIA.....	33
PARQUES SOLARES EN TERRITORIOS ÉTNICOS WAYÚU	40
MARCO REGULATORIO	47
RUPTURAS NECESARIAS PARA LA EXPLOSIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA.....	49
BIBLIOGRAFÍA	52

Tabla de Gráficas

Gráfica 1. Capacidad acumulada de energía por tecnología, 2010-2027	8
Gráfica 2. Minerales necesarios según tecnologías	12
Gráfica 3. Adiciones netas anuales de capacidad por tecnología, 2015-2027	18
Gráfica 4. Oferta primaria de energías y escenarios de oferta en 2025	19
Gráfica 5. Evolución de la participación de hidrocarburos y energías limpias en la matriz energética	32
Gráfica 6. Escenarios de crecimiento de la energía solar fotovoltaica-Colombia 2023 – 2053 en MW	36

Tabla de Tablas

Tabla 1. Minerales críticos para los equipos necesarios en la producción de energía de fuentes renovables no convencionales.....	14
Tabla 2. Minerales para acumular energía, reservas por países 2023.....	14
Tabla 3. Capacidad de generación de energía solar por departamentos.....	24
Tabla 4. Proyectos de energía solar registrados en la upme. Corte a mayo de 2023.....	26
Tabla 5. empresas que desarrollan energía solar y tienen actividades en Colombia	27
Tabla 6. Proyectos solares que entrarán al sistema antes de 2025	28
Tabla 7. Parques solares registrados en Colombia. Capacidad mayor de 50 MW	28
Tabla 8. Escenarios de crecimiento de la capacidad instalada de energía solar. Colombia 2023-2053	32
Tabla 9. Capacidad de proyectos vigentes 2023	33
Tabla 10. Hipótesis de cambio de la matriz de energía eléctrica. Colombia 2030-2050.....	34
Tabla 11. Hipótesis radical con salto solar, eólico y de hidrógeno a 2050.....	35
Tabla 12. Parque con registro vigente. La Guajira mayo 2023	37

Tabla 13. Parques que figuran prescritos por no reporte de avances o por haber suspendido el desarrollo. La Guajira mayo 2023	37
---	----

Tabla de Mapas

Mapa 1. Minerales críticos en el mundo	15
Mapa 2. Capacidad de los proyectos registrados de energía solar fotovoltaica según departamentos. Proyectos de mas de 50 GW - 2023	23
Mapa 3 y 4. Energía solar fotovoltaica en Colombia. Proyectos registrados por departamento, capacidad en MW y número de proyectos. UPME 2023	23
Mapa 5. Ubicación de los principales proyectos solares vigentes mayores de 80 MW. 2023	24

Introducción

El total de la energía eléctrica en Colombia era 18,8 GW de capacidad instalada en 2023 y en mayo del mismo año se habían registrado proyectos para la producción de energía solar fotovoltaica con 26 GW. De ese total solicitado, el 31% de la capacidad ya tenía aprobación o registro vigente para producción en firme (UPME, 2023).

Estas cifras indican que en un mundo ideal solo con el desarrollo efectivo de los proyectos de energía con fuente solar se podría cubrir la totalidad de la demanda adicional de energía eléctrica en Colombia hasta 2035. Con una aceleración similar de esa expansión hacia 2050 se llegaría a cubrir buena parte de la demanda de energía para la electrificación del transporte masivo urbano y del transporte particular.

El salto energético fotovoltaico, teniendo en cuenta solo el potencial derivado de la irradiación significa, en el papel, la posibilidad de pasar de una capacidad instalada de 946 MW en 2022, a más de 40.000 MW a la altura de 2050 solo por esta fuente de energía (Tabla 5).

En el mundo real los problemas técnicos y sociales deben incluirse en las ecuaciones no lineales para evaluar la real capacidad de expansión. Para que todo lo registrado se convierta en suministro de energía a los consumidores deben cumplirse todas las fases y superarse problemas de trámite, licencias sociales, licencias ambientales, cupos, problemas de redes y vicisitudes por incertidumbre en burocracia, políticas y precios. A precios de 2023 semejante expansión requeriría una inversión superior a US\$60.000 millones de dólares.

También se necesita considerar los problemas de almacenamiento y distribución de una energía cuya fuente es intermitente y de alta dependencia de equipos y materias primas no renovables de origen externo y con precios en fuerte disputa.

Con todos los obstáculos por superar, aún en el escenario más conservador, la dimensión de los registros muestran un potencial extraordinario para un salto en energía fotovoltaica en esta década.

Los compromisos de Colombia ante la comunidad internacional establecieron metas de diversificación de la matriz de energía con un papel importante de la electrificación basada en fuentes de energía renovable no convencional para el consumo de electricidad en el transporte, industrias, luz eléctrica y generación de calor. La estrategia de la transición incluye lo que se ha denominado la explosión solar y al tiempo exige continuar con la hidroenergía logrando el mantenimiento de las grandes hidroeléctricas que están en operación y desarrollando de manera sostenible las pequeñas, avanzar en el uso de otras fuentes renovables no convencionales como la biomasa, eólica, geotérmica, de las mareas y nuclear.

En este artículo se destaca el lugar central que puede cumplir la energía solar para responder al crecimiento del consumo en un escenario en el cual la producción de energía de fuentes fósiles tendrá un papel decreciente según la tendencia de los hallazgos, condiciones crecientes de costos, disminución de tasa de retorno y circunstancias internacionales.

Un salto colosal como el que está en curso ofrece oportunidades, pero también encierra riesgos, retos y problemas nuevos que establecen límites. Una evaluación general de este conjunto de dimensiones lleva a subrayar la importancia de inscribir la “explosión solar” en regulaciones efectivas para garantizar la soberanía energética y el manejo de un nuevo tipo de conflictos territoriales y mineros. Esa regulación debería buscar el aumento progresivo de capacidades técnicas y científicas nacionales, sustitución de importación de equipos, la diversificación de la matriz energética, la justicia y democracia en la energía y el ambiente, el

ordenamiento ecosocial del territorio, el fortalecimiento del papel del Estado como productor y regulador, el cumplimiento de la transferencia de tecnología y pago por daños causados por las potencias contaminantes según el Principio de Responsabilidad Común Diferenciada, el control a oligopolios y a la imposición de precios abusivos.

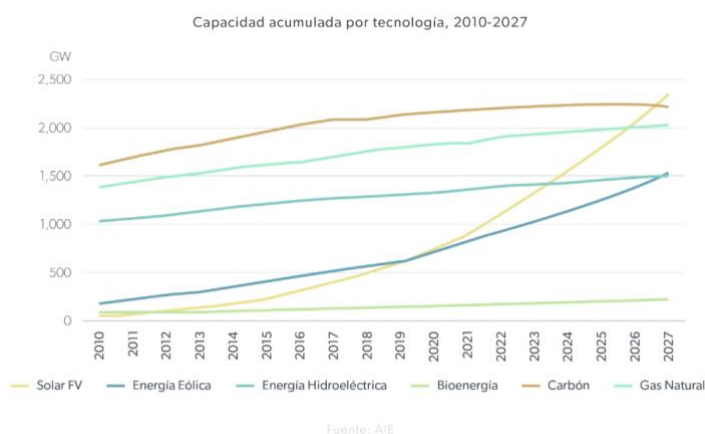
Panorama internacional de las energías renovables

El informe de la Agencia Internacional de Energía sobre energías renovables señaló en 2022 que, en los próximos años, hasta 2027 y seguramente hacia adelante, la expansión de la energía eléctrica en el mundo estará a cargo de las energías renovables en más de 90%. Ese crecimiento se está dando sobre todo en China, Unión Europea, Estados Unidos y la India (AIE, 2022).

Entre las renovables, las de mayor crecimiento son la eólica y la solar que dependen de la producción de aerogeneradores en Europa, Estados Unidos y China; y de paneles solares que en el 85% de la oferta mundial en 2023 está concentrada en China.

Con razón se afirma que encadenada con la crisis climática, se está asistiendo al tiempo a la mayor crisis de la energía y a la más profunda transformación hacia una etapa histórica de decadencia de la energía fósil, que puede pasar de ser a nivel global el 80% de la matriz de oferta de energía en 2022 a 55% en 2050 con una participación creciente de Fuentes Renovables de Energía No Convencional (AIE, 2023). A corto plazo, en 2030, la energía fotovoltaica se anuncia como la de mayor crecimiento, seguida de la eólica y la nuclear.

Gráfica 1. Capacidad acumulada de energía por tecnología, 2010 - 2027



Fuente: AIE (2023)

La comprensión de las crisis y de los cambios en curso, en cuanto a fuentes de energía requiere considerar el problema en su totalidad con sus emergencias e interacciones. Esto exige considerar que la crisis de la energía resulta por una combinación de determinaciones que acompañan la catástrofe climática, el abismo energético y el reordenamiento de la hegemonía en una fase de ruptura del orden unipolar, surgido después del colapso de la Unión Soviética.

La catástrofe climática se ha configurado con la sobresaturación de la atmósfera de gases de efecto invernadero producto de la destrucción de los sumideros de carbono, el cambio de uso de la tierra para explotaciones productoras de metano, el modelo agroindustrial y minero a costa de especies, bosques y del agua. Al tiempo con esta dinámica depredadora, la expansión capitalista se ha basado en el consumo de energía fósil con sobre emisión de dióxido de carbono, en especial desde los países más industrializados y sus multinacionales. Esta dinámica de expansión ha llevado al calentamiento global con sus manifestaciones catastróficas en el planeta, para millones de especies y para los sectores más empobrecidos y vulnerados de la humanidad.

El ciclo de producción y consumo de energía fósil ha generado en el siglo XXI lo que se ha denominado el abismo energético (Ocampo, 2018) por la creciente demanda y

desperdicio de energía en condiciones de desaceleración de hallazgos y reservas de petróleo y gas, el encarecimiento de los incrementos marginales, la utilización de técnicas de producción costosas y de mayor impacto destructivo. Ese abismo energético no es un fenómeno natural, pues la perspectiva de inflexión hacia el agotamiento está asociada a la influencia del control oligopólico de la producción de hidrocarburos y la manipulación de precios con ganancias extraordinarias para países y multinacionales.

Los conflictos de poder en el planeta, con la pérdida de hegemonía de los Estados Unidos y la inminencia del multipolarismo, ha colocado a la energía en el centro de las disputas y de las guerras, como se ha visto en Ucrania con la invasión rusa y el juego de intereses económicos, militares y geopolíticos amparados por la OTAN (González, 2023). Es una historia con antecedentes recientes en la ocupación de Kuwait, Irak, Libia, entre otros.

Europa ocupa un lugar central en la crisis de energía en tanto sus países han sido importadores de petróleo y gas durante un siglo y se han visto sometidos a los problemas de oferta desde Medio Oriente y norte de África. En el siglo XXI Rusia se volvió el principal proveedor de gas y petróleo para Alemania, los países de Europa oriental, Bélgica y otros (Grigas, 2016).

La integración creciente de Rusia a Europa en la última década, y el avance de la presencia China en esa región, se convirtieron en un desafío al interés de dominio y control de los Estados Unidos y en una amenaza para la continuidad del orden de post guerra recompuesto después de la disolución de la Unión Soviética.

Al avance de China, en estas décadas se sumó la emergencia de Alemania como potencia integradora de Europa como polo de poder, en una relación cada vez más estrecha con Rusia capitalista y pro Europa.

La guerra en Ucrania, que es parte de una disputa de potencias por el reordenamiento de la hegemonía en el planeta, ha servido para precipitar una nueva etapa en la guerra por la

energía, por los minerales críticos y su utilización para un nuevo reparto impuesto por pactos militares geoestratégicos.

Todas estas variables, que interactúan entre sí, han influido en la irrupción de un movimiento social internacional de resistencia desde los países más vulnerados en el “Sur Global” en alianza con movimientos ambientalistas en los países que son potencias contaminantes. Los desequilibrios de la crisis de la energía para las economías, ecosistemas y condiciones de vida en la mayor parte de los países del planeta, han llevado a la presión por compromisos de mitigación, adaptación y reparación de daños. La descarbonización y la diversificación de fuentes de energía para reducir el peso del carbón y los hidrocarburos, se colocó como un imperativo ético y de defensa de la vida frente a la depredación inherente a la cultura del hiperconsumo, la obsolescencia programada y de explotación capitalista, codiciosa e ilimitada de los bienes de la naturaleza.

Los informes de la Agencia Internacional de Energía (AEI, 2022) y del Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC, 2022), se concentran en los aspectos técnicos y en las manifestaciones de la crisis de energía y del “cambio climático”. Pero esa interpretación “científica” y técnica, silencia los aspectos determinantes de la crisis y se nivela bajo límites, análisis y propuestas que no choquen con los intereses de las grandes potencias que concurren en las Naciones Unidas, Cumbres del Clima y la definición de convenios o tratados multilaterales. Los diagnósticos y estrategias que se formulan parten del supuesto de que los mecanismos de mercado son los de mayor viabilidad y que la descarbonización e introducción de las energías renovables deben operar sometidos a la racionalidad de nuevos negocios liderados por las potencias contaminantes.

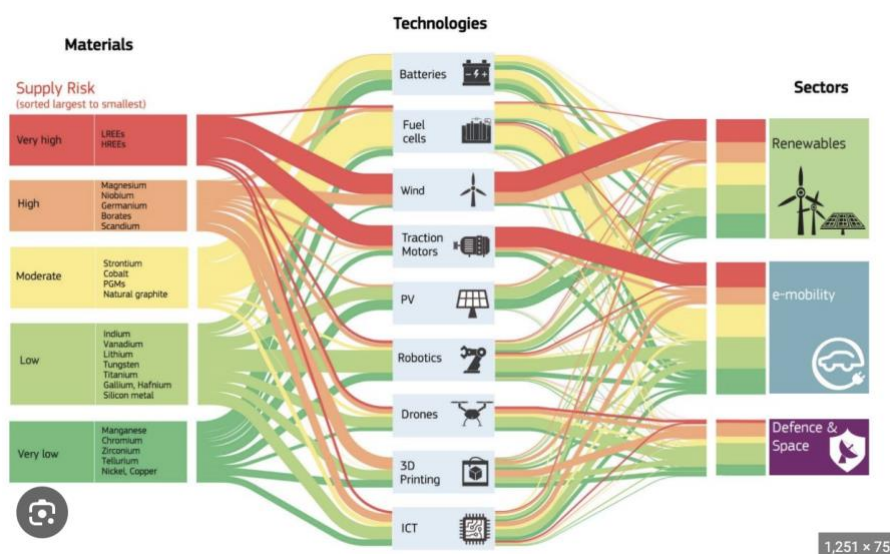
En estas circunstancias del juego del poder mundial, y de las guerras que incluyen a la energía, el escenario de expansión de las energías renovables no convencionales no responde simplemente a las preocupaciones por el calentamiento global. Las grandes potencias han

colocado la soberanía energética como asunto de seguridad nacional y de estrategia geopolítica y militar. Desde esa perspectiva asumen la diversificación de la matriz de energía y las respuestas a los impactos del cambio climático. Los compromisos de descarbonización con reducción de emisiones de gases de efecto invernadero son modulados según conveniencias económicas y geopolíticas como se muestra con la decisión de llevar la guerra en Ucrania a un bloqueo de las importaciones de gas y petróleo desde Rusia a Europa.

Los minerales críticos para la transición con energías renovables

Con la guerra y la manipulación de la oferta de hidrocarburos, los precios de la energía y de sus materias primas se han incrementado en todo el mundo, incluidos los del carbón. En esta disputa la recuperación económica después de la recesión marcada por la pandemia del Covid 19 presenta al tiempo mayor producción de energía de fuente fósil y ampliación de la producción de energía de otras fuentes. La competencia se amplía a la lucha por mercados y negocios de energía entre los cuales ocupa el primer lugar la eólica y solar. Esto incluye la competencia por los minerales críticos de la transición, o de la recomposición, energética (BID, 2023).

Gráfica 2. Minerales necesarios según tecnologías



Fuente: Carralero, 2022

En directa proporción con la aceleración de la producción de energía eólica y solar, se está incrementando la presión por los minerales necesarios para las tecnologías de la transición y por otros insumos. Entre esos minerales se encuentra el litio y el cobalto utilizados en baterías de vehículos eléctricos y en almacenamiento; el grafeno muy importante, con el silicio, en la fabricación de paneles solares; el neodimio y disprosio que se usan en la producción de turbinas eólicas. Entre los llamados minerales críticos se encuentran también la plata y las tierras raras (AIE, 2022).

En la producción de paneles fotovoltaicos se requiere, entre otros, de aluminio, etilvinil acetato, tereftalato (PET). También es creciente la demanda de insumos para los convertidores que requiere el circuito fotovoltaico con sus componentes electrónicos incluidos transistores y los circuitos impresos. El cobre es utilizado para la fabricación de circuitos impresos y se demanda también para embobinados, conductores, transmisores, entre otros.

El carácter finito, agotable, de los minerales críticos, lleva a relativizar la condición renovable de la materia prima para las llamadas energías renovables, como la eólica o la solar fotovoltaica. Con la expansión acelerada que se está impulsando en muchos países, en pocas décadas se tendrán ocupadas las zonas con mayor potencial de viento y sol y los nuevos desarrollos tendrán rendimientos decrecientes.

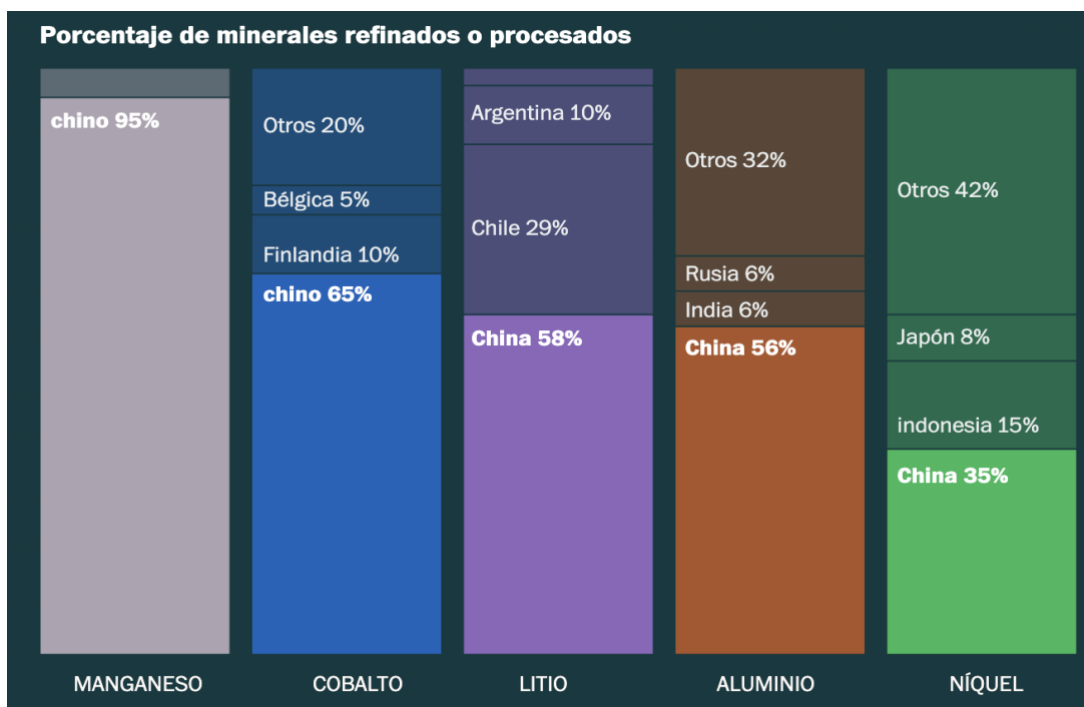
La AIE (2022) ya ha alertado sobre estos asuntos indicando que Estados Unidos, los países de Europa y otros aliados deben buscar independencia de los suministros que en la actualidad controla China.

La elevada dependencia de países concretos como China para el suministro de minerales críticos y para muchas cadenas de suministro de tecnologías limpias es un riesgo

que acecha a las transiciones, pero también lo son las opciones de diversificación que impiden los beneficios del comercio (AIE, 2022).

También han alertado sobre los problemas de seguridad nacional que se desprenden del déficit de estos países en reservas de minerales críticos. La oferta de esos minerales ya refinados y procesados está concentrada en China con porcentajes que superan el 50%.

Tabla 1. Minerales críticos para los equipos necesarios en la producción de energía de fuentes renovables no convencionales



Fuente: Washington Post, 2023

El informe publicado por el Washington Post (2023) muestra que Europa y Estados Unidos dependen de las reservas en África (Sudáfrica, Gabón y Congo), Latinoamérica (Chile, Bolivia, Argentina), China, Australia e Indonesia.

Tabla 2. Minerales para acumular energía, reservas por países. 2023

Mineral crítico para baterías de vehículos y para acumular energía renovable	Principales reservas (significan más del 85%)
Litio	Australia, Cono Sur LA, China
Bauxita (para aluminio)	China, Australia, Guinea, Brasil, India, Indonesia
Manganeso	Sudáfrica, Australia, Gabón, China
Cobalto	Congo (75%), Rusia, Indonesia y Australia
Níquel	Indonesia, Filipinas, Rusia, Canadá, Australia, China, Brasil

Fuente: Washington Post, 2023

Mapa 1. Minerales críticos en el mundo



Fuente: Washington Post, 2023

Esta distribución de reservas de materias primas críticas de la transición, lleva a la disputa entre multinacionales interesadas en garantizar el control para su beneficio. El citado informe del Washington Post (2023) describe los problemas sociales y ambientales de la

minería crítica en Guinea, Congo, Gabón y la angustia por la supremacía china en tierras raras. En Guinea la tierra antes dedicada a la agricultura es adquirida por compañías mineras sin adecuada compensación a los aldeanos. Empresas chinas extraen en la República Democrática del Congo el 80% de cobalto del mundo al tiempo que se reproduce el trabajo informal precario de más de 200.000 personas incluidos niños.

Tres de las mayores reservas actuales se concentran en el “triángulo de litio” de América del Sur, donde las áridas salinas de Argentina, Bolivia y Chile facilitan la extracción de litio simplemente evaporando el agua salada de las cuencas. El aumento de la demanda de litio amenaza con agotar el suministro limitado de agua de la región, desplazando a las comunidades indígenas (Washington Post, 2023).

La trayectoria de precios de los minerales está condicionada por la geografía de los recursos y los intereses de las grandes potencias, en especial desde Estados Unidos, Europa y China. El incremento previsto de la oferta en el caso del cobalto, cobre y el litio permitirá producir el 50% de los vehículos eléctricos nuevos en 2040 con un crecimiento exponencial.

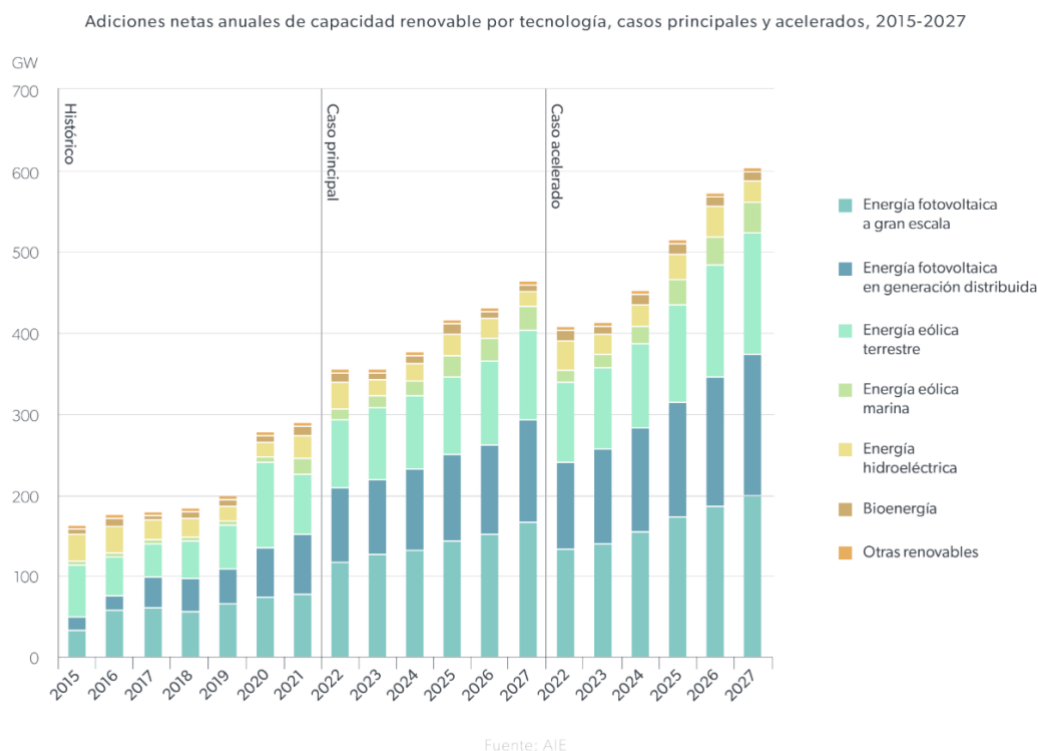
La energía solar fotovoltaica requerirá casi triplicar la demanda de cobre. La energía eólica, por su parte, requerirá importantes cantidades de tierras raras -como neodimio y el praseodimio- y cobre, impulsada por la eólica marina que requiere un mayor cableado. La expansión de la energía eléctrica, requerirá una gran cantidad de metales, principalmente cobre y aluminio (Ministerio de Minas de Argentina, 2022).

La nueva ola de minería para la transición ya ha prendido alertas para afrontar y mitigar impactos de la extracción a gran escala en los ecosistemas locales, incluyendo la deforestación, degradación del suelo y contaminación de aguas. A esto se suman los conocidos conflictos de la gran minería con las comunidades locales, muchas veces obligadas al desplazamiento, a conflictividades violentas y a tratos injustos en cuanto a la participación en los beneficios económicos.

La lectura de la crisis climática y de energía en los países del sur y en particular en Latinoamérica, se hace desde la óptica de las potencias contaminantes y sus prioridades en el reordenamiento del capitalismo global. Así toma forma una ideología dogmática de la transición acelerada bajo el modelo de un nuevo extractivismo verde: los países vulnerados deben alinearse con la apertura a las multinacionales que ofrecen la tecnología e inversiones para empresas verdes y extracción de los minerales críticos. También se imponen las condiciones de precios altos y beneficios tributarios, laborales y financieros para garantizar altas tasas de retorno de los nuevos negocios.

En Colombia se han dado pasos para ubicar la respuesta a la crisis climática en las encrucijadas dominantes y de resistencia que están abriéndose camino. El discurso hegemónico ha sido el de la adaptación a las condiciones construidas por el gran capital, sus multinacionales y centros de pensamiento. Frente a esa opción se escuchan las aún débiles alternativas de una transición disruptiva que implique un cambio de paradigma y una estrategia de negociación Latinoamericana para lograr espacio a modelos de transición ecosocial, ambiental y de energía que signifiquen cambios con mayor equidad, compensación y pago por daños ambientales, incorporación a un orden mundial sin guerra, ni pueblos sacrificados para el beneficio de los nuevos negocios de las potencias contaminantes.

Gráfica 3. Adiciones netas anuales de capacidad por tecnología, 2015 – 2027



Fuente: AIE 2023

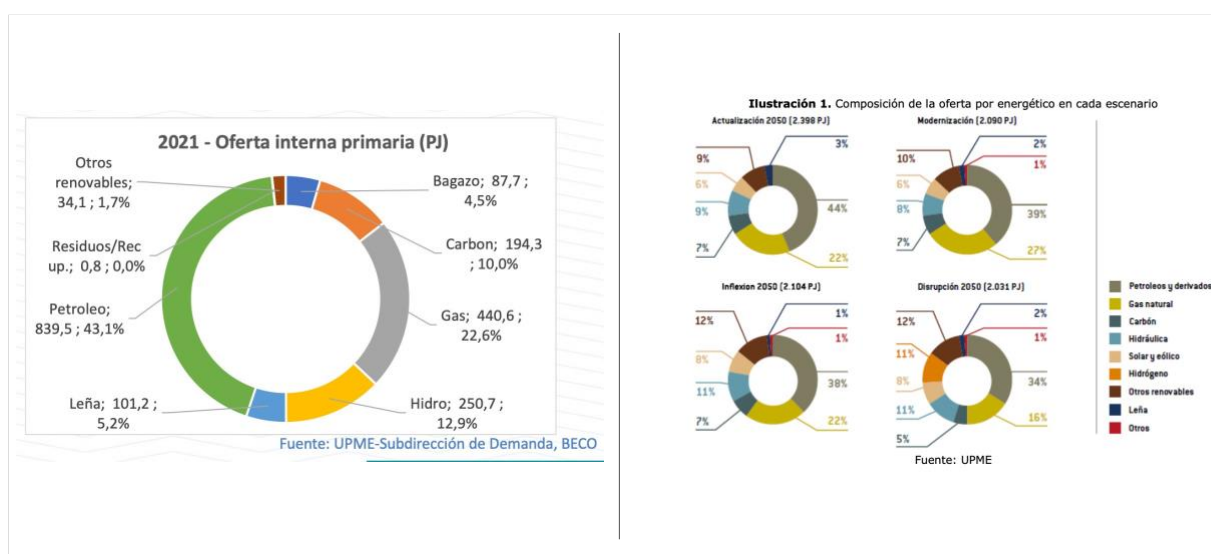
Energía solar en la matriz de energía en Colombia

La matriz de energía en Colombia se aprecia desde la producción de materia prima con fuentes de energía fósil, hidráulica y otras renovables no convencionales. También en la oferta de bienes energéticos para uso en energía eléctrica, combustión y producción de calor.

Según las estadísticas de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME, 2022), del Ministerio de Minas en Colombia, hasta los inicios de la segunda década del siglo XXI en la matriz completa predominó la oferta de energía fósil. En 2021 la oferta de energía de origen fósil fue el 75,7% del total, la hidráulica aportó el 12,9%, 4,5% la biomasa (bagazo) y las renovables solo 1,7%. Las proyecciones para 2050, según el estudio de la UPME, en el escenario de cambio más disruptivo consideraron la probabilidad de reducir la oferta fósil al 55% con un aumento de las renovables hasta alcanzar 30%, incluyendo en la suma a la

hidráulica 11% y 19% eólica y solar con una parte de esta energía (11%) convertida en hidrógeno (UPME, 2022). En el Plan Nacional de Energía 2022 – 2052, que estaba en construcción en mayo de 2023, se supone un escenario de cambio más radical en el cual el objetivo es reducir a 36% la participación de la energía fósil en el total de la oferta de energía (PEN, 2052).

Gráfica 4. Oferta primaria de energías y escenarios de oferta en 2050



Fuente. UPME, 2020

Considerando solo la energía eléctrica, en enero de 2023 la capacidad efectiva neta de generación era de 18.777 MW (UPME, 2023), correspondiendo a la solar 277 MW (1,55%) y a la eólica 20 MW. Si se incluyen pequeños proyectos de autogeneración esa capacidad aumenta a 946 MW en mayo de 2023 (UPME, 2023).

Considerando los proyectos registrados en la UPME con corte a marzo de 2023 (26 GW), y el porcentaje de ellos que tienen vigencia en esa fecha, se puede estimar que en 2030 se tendría, en un escenario ideal poco probable, una capacidad instalada de más de 8 GW de energía fotovoltaica. Si entre 2023 y 2030 se mantiene un registro similar al del periodo 2019 – 2023, la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica hacia 2035 sería superior a 16

GW. Esta cifra es similar a la capacidad instalada del total de fuentes de energía eléctrica en marzo de 2023. Cubriría el crecimiento de la demanda interna hasta 2035 y ayudaría, al lado de la hidráulica inercial y de otras emergentes, a tener oferta significativa para la electrificación del transporte y de otras actividades que utilizan hidrocarburos o carbón.

Los datos de proyectos vigentes en los registros de la UPME son un indicador de oferta potencial que en la realidad tienen una trayectoria limitada por tiempos de gestión y condiciones de la oferta internacional: se corrigen hacia arriba si se considera la ejecución efectiva de proyectos que temporalmente han salido del registro; se corrigen hacia abajo por atrasos y suspensión de algunos de los que en la fecha de corte aparecen como vigentes. Ese margen puede considerarse para construir escenarios, tal como se ilustra más adelante.

Panorama de la energía solar en Colombia 2023 – 2050

En la Unidad de Planeación Minero Energética del Ministerio de Minas y Energía, desde 2018 se habían registrado 1.004 proyectos de energía solar fotovoltaica según el corte de mayo de 2023: sumaban 186 vigentes con 9.534 MW y 814 prescritos con 16.810 MW. Ese total de 26.344 MW es un indicador de iniciativas privadas con pretensiones de proyectos en esta década de las cuales 36% estaban en firme y de las prescritas al menos el 50% han hecho un aprendizaje para retomar los tramites en un futuro cercano.

Si se asume que antes de 2032 al menos estén en operación instalaciones solares que sumen una capacidad instalada de 10.000 MW se estima que la inversión necesaria estará entre US\$15.000 y US\$20.000 millones de dólares. Este supuesto implica que entren en operación más de 1.000 MW al año en promedio, con una curva en forma de jota (j) con pendiente pequeña hasta 2027 y creciente en los siguientes años hasta 2032.

Geografía de los proyectos de energía solar

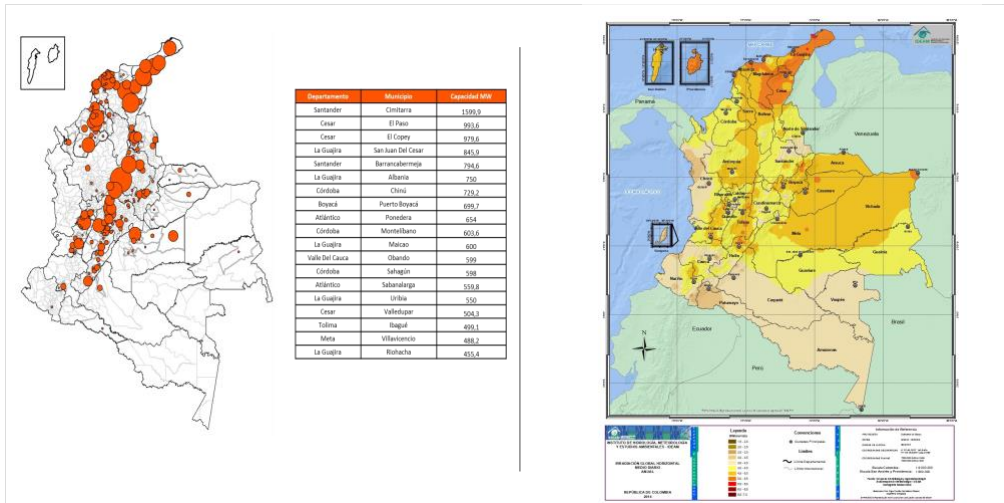
La distribución geográfica de los proyectos de energía solar PV se corresponde con el mapa de irradiación solar y a la iniciativa de grandes empresas autogeneradoras.

Los departamentos con mayor capacidad solar en proyectos registrados son La Guajira, Cesar, Santander, Córdoba y Atlántico. Les siguen Boyacá, Valle del Cauca y Tolima. En esas zonas los mayores desarrollos se dan en 34 municipios que representan el 51% del total nacional de capacidad en los proyectos registrados y con posibilidad de entrar en operación antes de 2030.

El mapa de irradiación muestra que, exceptuando la Amazonía y el Andén Pacífico, el resto de territorio colombiano tiene buenas condiciones para la utilización del sol como fuente de energía. La Guajira, Cesar y el conjunto del norte de la Costa Caribe tienen por encima 4,5 kW/m²/ día de irradiación llegando a 6.0 kW/m²/día en la zona del Cabo de la Vela. Entre 4.0 y 4,5 6.0 kW/m²/día se encuentra el resto del territorio, con las excepciones mencionadas.

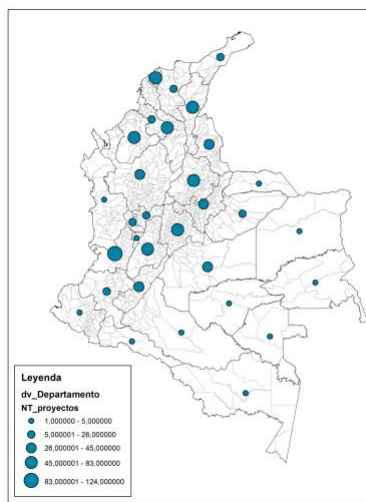
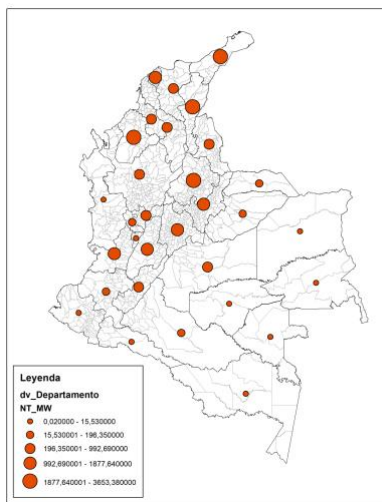
La mayor superposición entre territorios étnicos y zonas privilegiadas por la irradiación solar están en La Guajira, Cesar y Córdoba. Esas condiciones de excepción son una oportunidad para modelos comunitarios y asociativos en La Alta y Media Guajira y La Serranía del Perijá.

Mapa 2. Capacidad de los proyectos registrados de energía solar fotovoltaica según municipios más destacados en los departamentos. Proyectos de más de 50 GW – 2023



Fuente. Base de datos de proyectos registrados. UPME, 2023 (UPME, 2023)

Mapas 3. Energía solar fotovoltaica en Colombia. Proyectos registrados por departamento, capacidad en MW. Mapa 4. Proyectos registrados por departamento, Número de proyectos. UPME 2023



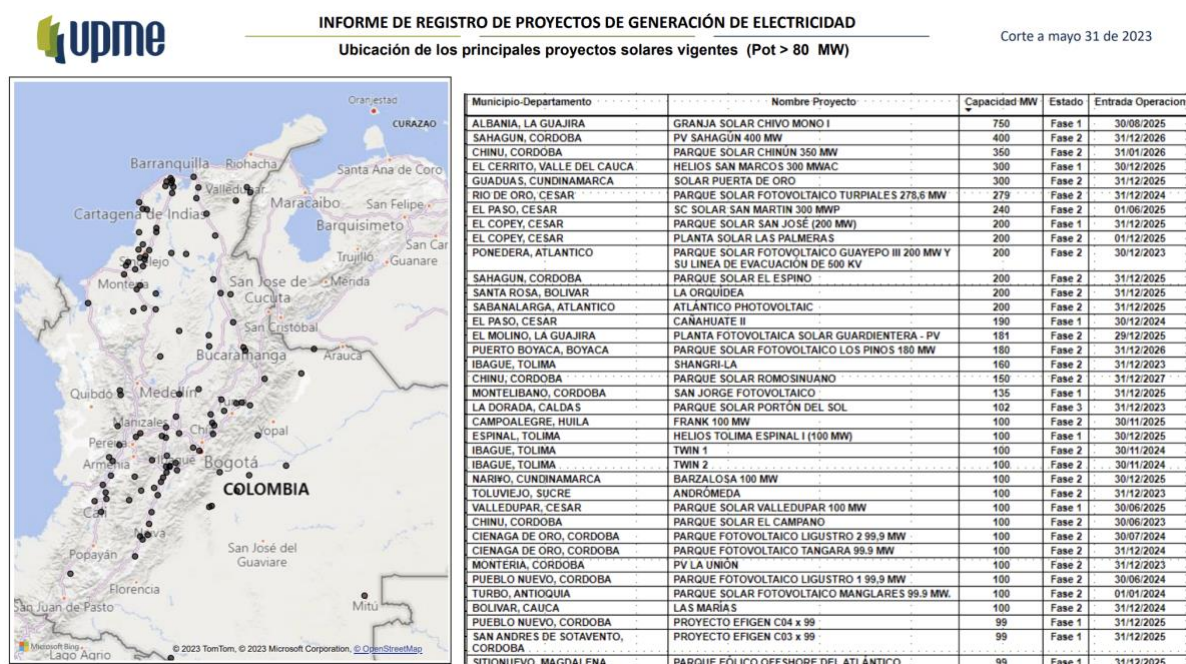
En cada uno de esos departamentos se han registrado proyectos entre 2 y 6 municipios. Por eso en 50 municipios del país se está gestando el 60% de la capacidad instalada de energía fotovoltaica que puede estar en operación en 2030.

Tabla 3. Capacidad de generación de energía solar por departamentos

Departamento	MW	Departamento	MW
Cesar	3653,38	Risaralda	196,35
La Guajira	3551,22	Cauca	131,47
Córdoba	2995,36	Caquetá	90,61
Santander	2957,97	Casanare	85,72
Tolima	1877,64	Arauca	69,6
Atlántico	1599,14	Bogotá, D.C.	56,61
Valle del Cauca	1555,3	Nariño	15,53
Cundinamarca	1448,74	Putumayo	13,37
Boyacá	1319,41	Guainía	12,27
Meta	992,69	Vaupés	10,8
Bolívar	931,55	Chocó	2,81
Huila	724,1	Amazonas	2,06
Magdalena	660,55	Vichada	1,62
Caldas	599,89	Guaviare	0,95
Antioquia	573,09	Quindío	0,22
Sucre	545,4	Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina	0,02
Norte de Santander	535,8		

Fuente: UPME, 2023

Mapa 5. Ubicación de los principales proyectos solares vigentes mayores 80 MW. Mayo de 2023



Fuente: UPME, 2023

Escala de los proyectos y principales empresas en energía solar

A diferencia de los parques de energía eólica en los proyectos de energía solar se presenta una distribución geográfica de mayor cobertura en el territorio nacional y un porcentaje mayor de proyectos en las escala media y pequeña.

En número de proyectos registrados, con corte a mayo de 2023, se tenía 17,8% de los proyectos con el 83,4% de la capacidad. Entre los vigentes 34,6% de los proyectos con 84,7% de la capacidad registrada. En los parques eólicos no existe escala pequeña, ni media, en razón a las características técnicas y mayor focalización en pocos territorios de las condiciones excepcionales de viento.

El elevado número de registros de proyectos solares PV con menos de 10 MW indica posibilidades de iniciativas de autogeneración para consumo familiar, comunitario y en pequeñas empresas. En una vivienda familiar promedio se estimaba un costo de

aproximadamente 8 mil dólares para una instalación garantizada a 25 años. A ese costo se le debe agregar el mantenimiento y renovación de baterías.

Pero en todo caso se requieren grandes inversiones cuando se trata de granjas solares y de grandes instalaciones urbanas.

En mayo de 2023 se estimaba entre 1,5 y 2 millones de dólares la inversión para una granja solar de 1 MW de energía fotovoltaica, incluyendo terreno de 2 a 3 hectáreas y demás instalaciones. Esto significa que un proyecto mediano, por ejemplo, de 20 MW, requiere entre US\$30 millones de dólares y US\$40 millones de dólares de inversión, contando todos los componentes y según ubicación y variables técnicas.

En Colombia de acuerdo a la radiación de cada zona (Wattios x M²) y utilizando los últimos paneles (550 - 650 vatios) para generar 1 MW, se necesita entre 2 y 3 hectáreas dependiendo de las características del terreno.

La TIR de uno de estos proyectos es más o menos 5 años y la vida útil son 25-30 años.

La proyección de utilidades tiene en cuenta el precio de venta de la energía, que en la subasta de 2021 estuvo alrededor de 350 - 400 Cop x kW; además se suman los incentivos tributarios y la venta de bonos de carbono (Entrevista2. 2023).

Tabla 4. Proyectos de energía solar registrados en la UPME - corte a mayo de 2023

Escala en MW	Vigentes		Prescritos		Total	
	No. proyectos	MW	No. proyectos	MW	No. proyectos	MW
<100	27	5.616	46	9.484	73	15.100
99,9 a 50	30	2.374	48	3852	78	6.226
49,9 a 20	7	256	20	566	27	822
19,9 a 10	38	822	119	1.987	157	2.809

9,9 a O	83	666	581	920	664	1.586
Total	185	9.734	814	16.809	999	26.543

Fuente: Base de datos UPME (2023)

Considerando los proyectos registrados vigentes con corte a mayo de 2023 como muestra indicativa, se observa que 30,8% de ellos abarca 82% de la capacidad del total. En el total de registros 21% de los proyectos tiene 80% de la potencia a instalar. Lo que permite deducir que la tendencia del mercado es al predominio de las grandes empresas que cuentan con la mayor capacidad gerencial, financiera y tecnológica. Las empresas de escala mayor coexisten con pequeños emprendimientos como se observa en que 66,5% de los proyectos registrados con menos de 9,9 MW tengan 5,9% de la capacidad a instalar.

La lista de las 46 empresas desarrolladoras/inversionistas más conocidas muestra la presencia de grandes compañías de España, Francia, Alemania, Italia, Estados Unidos, Canadá, Japón, China y Reino Unido. En Colombia se han conformado algunas firmas con alta capacidad de ingeniería y están entrando a este campo compañías importantes como Ecopetrol, EPM, Celsia. La mayoría de las empresas extranjeras tienen proyectos en varios países y alto conocimiento técnico en energías renovables.

Tabla 5. Empresas que desarrollan energía solar y tienen actividades en Colombia. Afiliadas a la Asociación de Energías Renovables - SER

País	Empresa	País	Empresa
Alemania	ABO WIND	España	ib vogt GmbH
	Acciona		Ingenierias Aliadas
	Akuo		INGENOSTRUM
	Atlantica Sustainable Infrastructure		InterEnergy
	Aldesa		Itasol
Argentina	Black Orchid Solar		Lader Energy

Brasil	Canadian Solar		Lilan Energy
	Ciudad Luz		Mainstream Renewable Power Latam (Irlanda)
China	Grupo Cobra		MPC Capital AG
	China Three Gorges Corporation		Nitro Energy
Canadá	Continua Energías Positivas		Northland Power Inc.
Chile	DVP Solar		Notus Energy
	EDF Renouvelables		
	EDP Renewables	Francia	Proelétrica S.A.S. E.S.P
Italia	Enel Green Power		Rayo Energía
Colombia	ENGIE		Renergetica
India	Enzen Global Solutions		Siemens Energy
Colombia	Celsia		Solar Park
Brasil	Essentia Energia		SOLEK HOLDING SE
Francia	GreenYellow Colombia	India	Sowitec
Reino Unido	Grenergy Renovables		SUNGROW
Japón	Hitachi Energy		Techos Rentables Solar
EEUU	HMV Ingenieros	Japón	Trina Solar
	Hybrytec Solar	Reino Unido	Univergy

Fuente: Indepaz con datos de SER, 2023

Los resultados de las subastas muestran el peso dominante de las grandes empresas de Italia, Francia y Japón. Diez de esas empresas, por medio de subsidiarias creadas en Colombia, están construyendo granjas solares en Córdoba, Cesar, Magdalena, Tolima y Valle del Cauca, con la meta de tener 1.340 MW antes de 2025 (La República 2023). A estas se suman otras de Países Bajos, Chile y Alemania que podrían elevar el total de capacidad instalada a 8.090 MW antes de 2032 si se agilizan trámites para la puesta en marcha de 59 parques que tiene registro vigente pero que se encuentran en fase 1 o fase 2.

Tabla 6. Proyectos solares que entrarán al sistema antes de 2025 - Total 1.340 MW

PROYECTOS SOLARES QUE ENTRARÁN AL SISTEMA ANTES DE 2025			
Empresa	Proyecto	Capacidad (MW)	Ubicación
Solarpark	PV La Unión	100	Córdoba
Enel	Nabusimake	99,9	Magdalena
Celsia	Solar Escobal 6	99	Tolima
Arrayanes	Manglares	99,9	Antioquia
EPM	Tepuy	83	Caldas
Solarpark	La Mata	80	Cesar
EDF	Bosques Solares de los Llanos 6	79,6	Meta
EDF	Pubenza PSR2	50	Cundinamarca
Canadian Solar	Caracoli 2	50	Atlántico
Genersol	Sunnorte	35	Norte de Santander
Urrá	Solar Urrá	19,9	Córdoba
Enel	Latam Solar La Loma	150	Cesar
Enel	El Paso	67	Cesar
Trina	CDF Cartago	99	Valle del Cauca
Trina	Campano	99,9	Córdoba
Trina	CDF San Felipe	90	Tolima

Fuente: Sondeo LR, MinEnergía / Gráfico: LR-AL

Fuente: Diario La República, 2023

Tabla 7. Parques solares registrados en Colombia. Capacidad mayor de 50 MW. Corte mayo de 2023

Amarak Gutami					
Energy S.A.S. ESP	Granja Solar Chivo Mono I	750	La Guajira	Albania	
Latamsolar					
Fotovoltaica Sahagún					
Solar SAS	PV Sahagún 400 MW	400	Córdoba	Sahagún	
Latam Solar	Parque Solar Chinún	350			
Renovables SAS	MW	350	Córdoba	Chinú	
Delphi Capital	Helios San Marcos	300			
Partners S.A.S.	MWAC	300	Valle del Cauca	El Cerrito	

Parque Solar Puerta de Oro S.A.S.	Solar Puerta de Oro	300	Cundinamarca	Guaduas
Fotovoltaico Turpiales SAS	Parque Solar Fotovoltaico Turpiales 278,6 MW	278,6	Cesar	Río de Oro
SC Solar S.A.S	SC Solar San Martín 300 MWP	240	Cesar	El Paso
Generadora San Joaquín S.A.S.	Planta Solar Las Palmeras	200	Cesar	El Copey
Generadora San José SAS	Parque Solar San José (200 MW)	200	Cesar	El Copey
Guayepo Solar III SAS	Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200 MW y su Línea de evacuación de 500 KV	200	Atlántico	Ponedera
La Orquídea Solar S.A.S.	La Orquídea	200	Bolívar	Santa Rosa de Lima
Planta Solar Sahagún SAS	Parque Solar El Espino	200	Córdoba	Sahagún
Atlántico Photovoltaic SAS	Atlántico Photovoltaic	199,5	Atlántico	Sabanalarga
Drummond Energy INC	Cañahuate II	190	Cesar	El Paso
Ambener S.A.S.	Planta Fotovoltaica Solar Guardientera - PV	181,3	La Guajira	El Molino
Solar Los Pinos SAS	Parque Solar Fotovoltaicos Los Pinos 180 MW	180	Boyacá	Puerto Boyacá
Patrimonios Autonomos Credicorp Capital Fiduciaria SA	Shangri La	160	Tolima	Ibagué
Córdoba Solar 2 SAS	Parque Solar RomoSinuano	150	Córdoba	Chinú
San Jorge Fotovoltaico S.A.S E.S.P	San Jorge Fotovoltaico	135	Córdoba	Montelíbano
Gamesa Electric / Parque	Parque Solar Porton del Sol	102	Caldas	La Dorada

Solar Portón del Sol SAS				
Barzalosa SAS	Barzalosa 100 MW	100	Cundinamarca	Nariño
Electryon Power Colombia SAS	Helios Tolima Espinal I (100 MW)	100	Tolima	Espinal
Enel Colombia SAS ESP	Parque Solar Valledupar 100 MW	100	Cesar	Valledupar
Mainstream Renewable Power	Andrómeda	100	Sucre	Toluviejo
Quality Mechanical Solar SAS	Frank 100 MW	100	Huila	Campoalegre
Quality Mechanical Solar SAS	Twin 1	100	Tolima	Ibagué
Quality Mechanical Solar SAS	Twin 2	100	Tolima	Ibagué
El Campano Solar S.A.S.	Parque Solar El Campano	99,9	Córdoba	Chinú
Fotovoltaico Arrayanes S.A.S.	Parque Solar Fotovoltaico Manglares 99,9 MW	99,9	Antioquia	Turbo
Parque Solar Ligustro I S.A.S.	Parque Fotovoltaico Ligustro 1 99,9 MW	99,9	Córdoba	Pueblo Nuevo
Parque Solar Ligustro II S.A.S.	Parque Fotovoltaico Ligustro 2 99,9 MW	99,9	Córdoba	Ciénaga de Oro
Parque Solar Tangara S.A.S.	Parque Fotovoltaico Tangara 99,9 MW	99,9	Córdoba	Ciénaga de Oro
SPK La Unión S.A.S. E.S.P.	PV La Unión	99,9	Córdoba	Montería
Promotora y Generadora de Energías Sostenibles - PGES SAS	Las Marías	99,8	Cauca	Bolívar
Atlantic Energy Group SAS	P. E. Offshore del Atlántico	99	Magdalena	Sitionuevo

Eficiencia Generación y EnergíaSAS	Proyecto Efigen C04 x 99	99	Córdoba	Pueblo Nuevo
Eficiencia Generación y EnergíaSAS	Proyecto Efigen C03 x 99	99	Córdoba	San Andrés de Sotavento
Celsia / CSF San Felipe Continua SAS ESP	CSF Continua San Felipe 90 MW	90	Tolima	Armero
Paipa I PSR 3 SAS	Paipa I PSR 3	88	Boyacá	Sotaquirá
Andes Solares SAS	Planta Fotovoltaica Andes Solares 85 MW	85	Santander	Barrancabermeja
Empresas Públicas de Medellín E.S.P.	Proyecto Parque Solar Fotovoltaico Tepuy	83	Caldas	La Dorada
Electryon Power Colombia SAS	Helios Carreto 80 MW	80	Bolívar	San Jacinto
Generadora Buenavista SAS	Parque Solar La Virginia	80	Risaralda	Balboa
Generadora San Mateo SAS	Parque Solar San Mateo	80	Valle del Cauca	Ansermanuevo
Leo Solar SAS	Leo Solar II	80	La Guajira	San Juan del Cesar
SPK La Mata S.A.S. E.S.P.	PV La Mata	80	Cesar	La Gloria
Bosques Solares de los Llanos 6 S.A.S. E.S.P.	Bosques Solares de los Llanos 6	79,6	Meta	Villavicencio
Parque Solar Fotovoltaico Wimke S.A.S.	Parque Solar Fotovoltaico Wimke	76	La Guajira	San Juan del Cesar
Paipa II PSR 4 SAS	Paipa II PSR 4	72	Boyacá	Sotaquirá
Desarrollos Energéticos del Caribe S.A.S.	Parque Solar Caribe	55	Caldas	Chinchiná
Drummond Energy INC	Cañahuate I	50	Cesar	El Paso

Electryon Power Colombia SAS	Helios Purino 100 MW	50	Caldas	La Dorada
Electryon Power Colombia SAS	Helios Tolima Natagaima 50 MW	50	Tolima	Natagaima
Fotovoltaico Tolima Norte SAS	Parque Solar Fotovoltaico Tolima Norte 50 MW	50	Tolima	Armero
Parque Solar Pacandé S.A.S. E.S.P.	Parque Solar Pacandé	50	Tolima	Natagaima
PSR 5 SAS	Pubenza PSR2	50	Cundinamarca	Girardot
Ralos & Blaud Energy Colombia S.A.S	Caracolí I	50	Atlántico	Malambo

Fuente: Indepaz con base de datos de la UPME, 2023

La explosión de proyectos de parques solares y de la instalación de paneles en residencias y en pequeños negocios refleja las expectativas de rentabilidad o de disminución de costos de la energía en comparación con los que se vienen presentando con la matriz actual.

Retos de la explosión de energía solar en Colombia

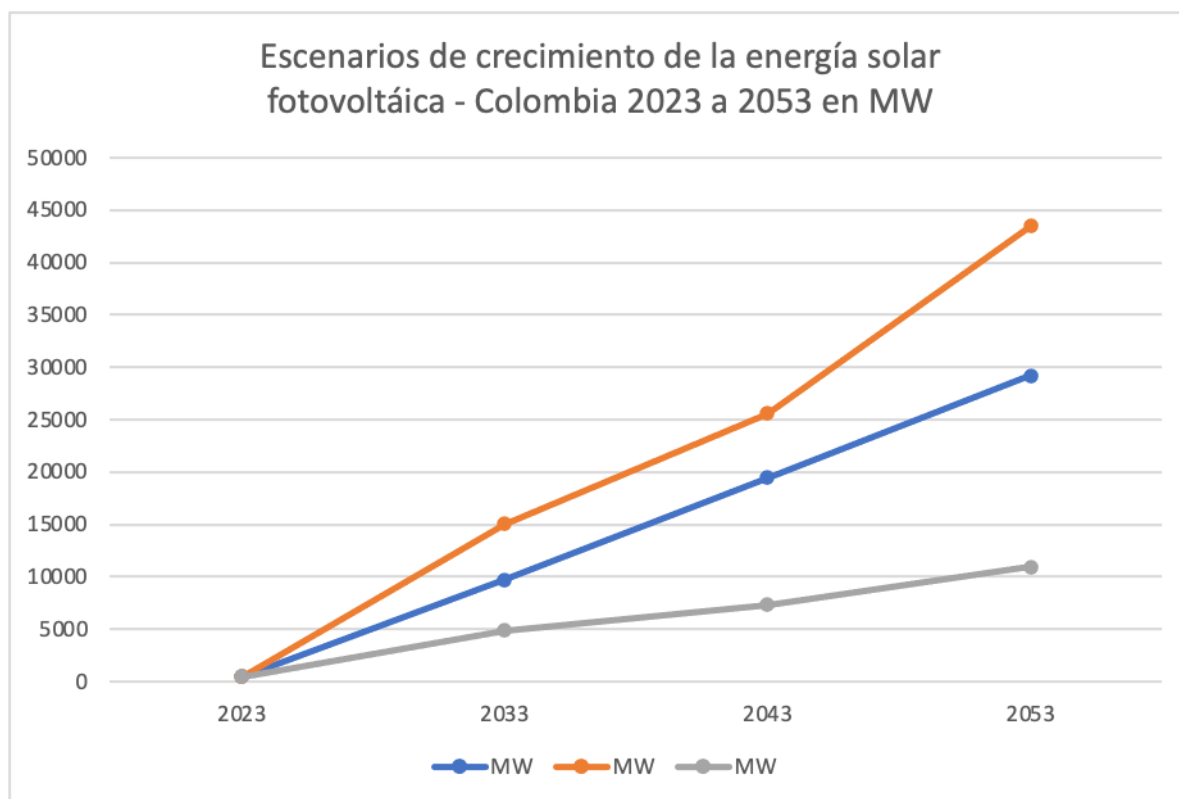
El reto mayor que han identificado los gobiernos y las empresas es lograr en la próxima década el cambio de la matriz energética y de energía eléctrica con la participación de las energías renovables. ¿Hasta qué punto va a contribuir la energía solar y bajo qué condiciones? Es un interrogante general que lleva a pensar en la regulación ante la concentración de la producción en grandes proyectos, la disponibilidad de tierra o superficies, los costos de almacenamiento, precios de los minerales críticos y los cambios tecnológicos.

La tabla 3, muestra los registros vigentes y prescritos según el corte considerado a mayo de 2023. Ellas indican la posibilidad del crecimiento de la oferta de energía solar que

está comprometida para estar en operación en los próximos años. En la hipótesis de un crecimiento similar de registros en las próximas dos décadas, se tendrían cerca de 10.000 MW adicionales en operación hacia 2043. Lo que indica la posibilidad de tener una capacidad instalada superior a 30 GW hacia 2050.

En la gráfica 5 se incluyen otros escenarios teniendo en cuenta que las cifras de proyectos prescritos incluyen algunos que han dejado de reportar pero que siguen avanzando. Además, al no ser obligatorio el registro ni mantenerse en él, la cifra de proyectos en curso puede ser mucho mayor. Según la norma la motivación mayor para que una empresa o un desarrollador se inscriba ante la UPME es la acreditación para obtener beneficios y tributarios, lo que pueden dejar para el final de la fase 3. Los paneles de autogeneración para consumo familiar no tienen ningún estímulo para registrarse. Estas consideraciones, sumadas a la probable disminución de costos por kWh, permiten proyectar una ruta super optimista de crecimiento casi logarítmico a partir de 2030, lo que llevaría a una capacidad instalada de más de 40 GW en 2053. El escenario medio permite una proyección de cerca de 30 GW en los primeros años de la década 2050.

Gráfica 5. Escenarios de crecimiento de la energía solar fotovoltaica - Colombia 2023 a 2053 en MW



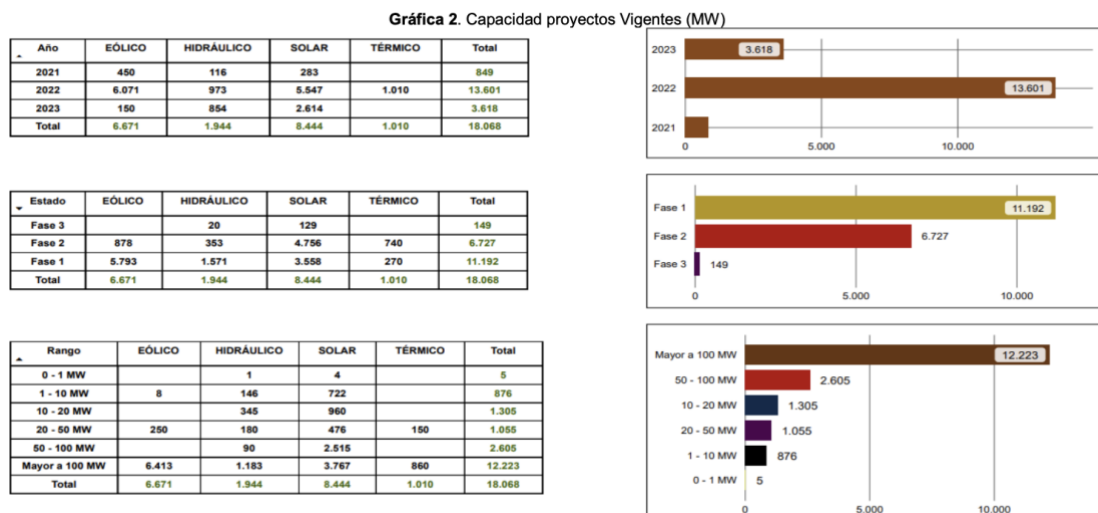
Fuente: Elaboración propia, 2023

Tabla 8. Escenarios de crecimiento de la capacidad instalada de energía solar. Colombia 2023 – 2053

	E1. Medio	E2. Alto	E3. Bajo
	MW	MW	MW
2023	946	946	946
2033	9.734	15.042	4.867
2043	19.468	25.572	7.300
2053	29.202	43.473	10.950

Fuente: Elaboración propia, 2023

Tabla 9. Capacidad de proyectos vigentes - 2023



Fuente: Registro de proyectos UPME, 2023

En el Plan Energético 2020 – 2050 (UPME, 2020), se formulan cuatro escenarios de cambio en la matriz de energía eléctrica y del total de la energía que incluye además la fósil dedicada a calor y combustión. Utilizan el modelo más común en Europa conocido como Low Emissions Analysis Platform (LEAP), “modelo de simulación de tipo “bottom-up” que integra las dimensiones energética y ambiental” (PEN, 2020) para proyectar esas posibilidades que se distinguen por los supuestos en variables como la demanda esperada, intensidad, la tasa de crecimiento del PIB, cambio demográfico, precios internacionales de hidrocarburos, cumplimiento de metas de carbono neutralidad según los compromisos de París (2015) y de cumbres del clima que le han seguido. Ese modelo LEAP considera cuatro escenarios:

- Actualización, sigue las tendencias de la segunda década sin importantes cambios de tecnología ni sustitución de fuentes de energía fósil.

- Modernización, con amplia utilización de gas, biocombustibles, FNCER, eólico off shore; se supone mayor participación de energía eléctrica en el transporte.
- Inflexión con gran electrificación en transporte e industria y la utilización de pequeños reactores nucleares.
- Disrupción con amplia utilización del hidrógeno verde a partir de FNCER. Cambio acelerado del transporte a hidrógeno y electricidad limpia.

Tomando el promedio de los cuatro escenarios, en 2050 se tendría una capacidad instalada de 43 GW para generar electricidad. La matriz promedio de energía eléctrica tendría un cambio notable por el crecimiento de las FNCER, en especial de las energías eólica y solar. El hidrógeno se coloca aparte, pero sería una transformación de energías limpias. La participación porcentual de la energía hidráulica tendría una drástica disminución sin variar la capacidad instalada. Se supone que se han cerrado las térmicas que usan carbón y solo quedan pocas a gas.

Tabla 10. Hipótesis de cambio de la matriz de energía eléctrica. Colombia 2030 - 2050

	GW 2030	2030	GW 2050	2050	GW 2050	2050
			Hipótesis 1	%	Hipótesis 2	%
Hidráulica	15	58%	15	36%	15	36%
FNCER	4	17%	18	41%	10	23%
Térmica	5	24,5%	6	13%	6	13%
Hidrógeno	1	0,5%	2	5%	10	23%
Nuclear			2	5%	2	5%
	25	100%	43		43	100%

Fuente: Estimación con base en el Plan Energético Nacional 2020-2050

La primera hipótesis mantiene los supuestos del Plan Nacional de Energía 2020-2050 (UPME, 2020) con incremento de la oferta de energía eólica y solar para electrificación del transporte y la industria con poca producción de hidrógeno. En la hipótesis 2 al menos el 50% de la energía eólica y solar se utilizaría para producir hidrógeno orientado al consumo interno.

La hipótesis 3 considera la posibilidad de un salto importante en la producción de energía solar fotovoltaica de conformidad con las proyecciones que permiten hacer los registros de proyectos (Gráfica 5). Se supone un escenario medio entre los tres considerados atrás (Tabla 8), con aporte similar en energía eólica para tener 60 GW de capacidad instalada en FNCER; parte importante de esa energía se utilizaría para hidrógeno orientado al consumo nacional y a las exportaciones.

En la hipótesis 3 se proyecta en Colombia a 2050 una verdadera revolución de la energía solo posible con un crecimiento del PIB por encima del 4,5 y una estrategia agresiva de exportación de excedentes de energía generada.

Tabla 11. Hipótesis radical con salto solar, eólico y de hidrógeno a 2050

	GW 2030	2030	GW 2050 Hipótesis 3	2050
Hidráulica	15	58%	15	18%
FNCER	4	17%	30	35%
Térmica	5	24,5%	5	6%
Hidrógeno	1	0,5%	30	35%
Nuclear			5	6%
	25	100%	85	100%

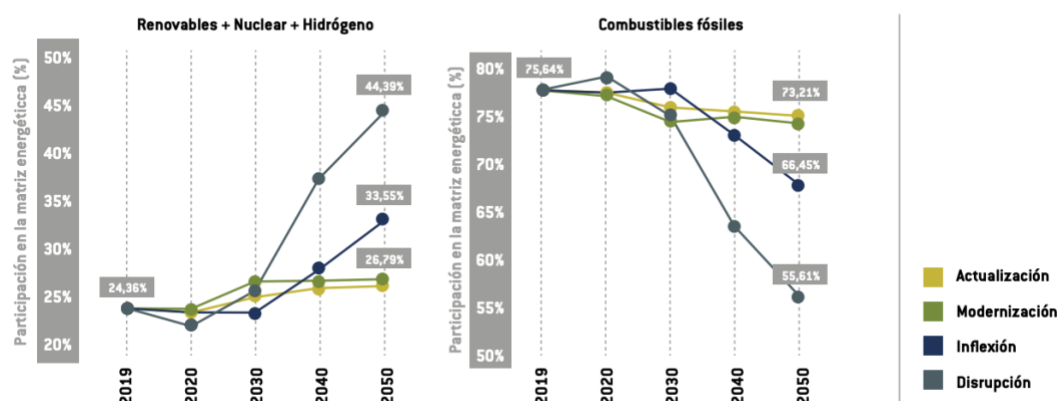
Fuente: Proyecciones y estimativos con base en PEN 2020

Con 85 GW disponible y al menos 35 GW de energía solar a la altura de 2050 se tendría un cambio sustancial en toda la matriz de energía pasando a predominar las FNCER hasta significar más del 55%. En los escenarios considerados en el Plan Nacional de Energía (UPME, 2020) los combustibles fósiles serían 55,6% del total con un supuesto de 3,5 de tasa promedio de crecimiento del PIB y 500% de crecimiento de la capacidad instalada de energía renovable. Reducir aún más esa participación fósil en la matriz de energía supone un esfuerzo colosal que se considera aquí como hipótesis 3. Con cifras de 2023, sólo en energía solar se necesitaría una inversión de US\$45.000 millones en 27 años para un aumento anual promedio de 2 GW en parques fotovoltaicos. El superávit de energía, que se tendría en esta hipótesis, estaría destinado a mercados externos. En la ruta formulada en los estudios del BID se apuesta a que buena parte de toda la energía eólica y solar puesta en operación en las próximas tres décadas debería convertirse en hidrógeno verde.

Gráfica 6. Evolución de la participación de hidrocarburos y energías limpias en la matriz energética

Evolución de la participación de hidrocarburos y energías limpias en la matriz energética

Fuente: elaboración propia.



Fuente: PEN, 2020

Con las condiciones tecnológicas actuales los escenarios del PEN 2020-2050 (PEN, 2020)) o la hipótesis 3 de revolución solar, además de grandes inversiones se requieren entre 60.000 hectáreas y 100.000 hectáreas que ocuparían los parques solares. La presión por superficies sería directamente proporcional a las condiciones de irradiación y costos de transmisión hasta el Sistema de Interconexión Nacional o a las plantas de almacenamiento y producción de hidrógeno verde. En algunas regiones esto exige abordar conflictividades con territorios étnicos y de vocación agrícola, como son los casos de La Guajira, zona de los pueblos Tayrona dentro de la Línea Negra que rodea la Sierra Nevada de Santa Marta y otros del Caribe, Llanos orientales, Magdalena Medio, Tolima y zona central andina.

Parques solares en territorios étnicos wayúu

A diferencia de lo que ocurre con los proyectos de parques eólicos, con los parques solares no se presentaban muchos conflictos con comunidades étnicas al comenzar el 2023.

En territorio del Resguardo de la Media y Alta Guajira, no obstante las condiciones de irradiación que tienen más de 4,5 kW/m² día, son pocos los proyectos de granjas solares que se han iniciado. En este resguardo, se están impulsando micro proyectos para electricidad en viviendas y en pequeños negocios familiares, muchos de ellos con apoyo del IPSE del Ministerio de Minas y de algunas agencias de cooperación. En junio de 2023, en toda La Guajira estaban en gestación más de 500 instalaciones en viviendas y microproyectos con paneles y baterías. (IPSE, 2023).

En los municipios del sur de La Guajira, con corte a mayo de 2023, figuran con registro vigente seis parques con capacidad de 1.107 MW que iniciaran operaciones antes de terminar 2026 (UPME, 2023). Según afirmaciones hechas en 2022 por la Dirección de

Consulta Previa del Ministerio del Interior, las 3.000 hectáreas que ocuparan los parques y algunas servidumbres no se superponen con territorios étnicos. Se trata de predios en los municipios de San Juan del Cesar, Albania y El Molino. Otros trece parques figuraban en mayo de 2023 con registro prescrito porque no tienen actualizada la información o han suspendido el proceso; quedan en los municipios de Maicao, Riohacha, San Juan del Cesar y el Molino. A pesar de figurar como prescritos su huella de trámites indica la posibilidad de que se retomen en esta década y agregarían hasta 2.093 MW. En todos estos casos se requiere claridad sobre la presencia o no de comunidades étnicas en las áreas que ocuparían los parques o granjas solares. Las comunidades han alertado sobre la necesidad de superar prácticas, desde las entidades gubernamentales competentes, que han desconocido las condiciones étnicas de territorios escogidos por grandes empresas para sus inversiones.

Por otro lado, la participación y consulta con las comunidades guajiras, no definidas como étnicas, es un punto especial a considerar en esos planes de instalación de parques solares con alto impacto territorial. Con la definición de proyectos de interés nacional y estratégico – PINES -, aunque se trata de energía renovable, sigue pendiente el interrogante sobre las normas para que las empresas dispongan de zonas de servidumbre y de un perímetro de seguridad como rige en proyectos mineros.

Además, la Ley 2099 del 2021 extiende a los proyectos de energías renovables no convencionales la calificación de utilidad pública e interés social, público y de conveniencia nacional lo que, si se aplican las normas que rigen en la minería e hidrocarburos, significaría que cualquier propiedad privada que sea requerida para el desarrollo del proyecto debe ser vendida de conformidad con las normas de expropiación con indemnización. Para especialistas en derecho ambiental, así lo dispone la Ley 1508 de 2012 sobre PINES que

regula la expropiación por razones de interés nacional en obras de infraestructura, urbanismo, energía, minería entre otras (Entrevista2, 2023).

Tabla 10. Parques con registro vigente. La Guajira con corte a mayo de 2023

Desarrollador	Parque	MW		Municipio
Amarak Gutami Energy S.A.S. ESP	Granja Solar Chivo Mono I	750	La Guajira	Albania
Ambener S.A.S.	Planta Fotovoltaica Solar Guardientera - PV	181,3	La Guajira	El Molino
Leo Solar SAS	Leo Solar II	80	La Guajira	San Juan del Cesar
Parque Solar Fotovoltaico Wimke S.A.S.	Parque Solar Fotovoltaico Wimke	76	La Guajira	San Juan del Cesar
Leo Solar SAS	Leo Solar I	19,9	La Guajira	San Juan del Cesar
Total		1.107		

Fuente: UPME, 2023

Tabla 11. Parques que figuran prescritos por no reporte de avances o por haber suspendido el desarrollo. La Guajira con corte a mayo de 2023

Desarrollador	Parque	MW		Municipio
Colombia Solar Corporación Internacional SAS	Parque Solar Cuestecitas	600	La Guajira	Maicao
Parque Solar Colombia VIII	Parque de Generación	200	La Guajira	Riohacha

S.A.S. E.S.P.	Fotovoltaica Santa Teresa			
Eólica Sierra Nevada S.A.S. E.S.P.	Proyecto Eólico María	200	La Guajira	San Juan del Cesar
Acciona Energía Colombia SAS	PSFV Potreritos	168	La Guajira	El Molino
Sowitec Operation Colombia S.A.S.	Parque Solar Fotovoltaico Cuestecitas	135,4	La Guajira	Riohacha
ENR Colombia S.A. E.S.P.	ENR COL I	120	La Guajira	Riohacha
Colenergy II SAS ESP	Parque Solar San Juan del Cesar 2	101	La Guajira	San Juan del Cesar
SJ Renovables Sun 1 S.A.S. E.S.P.	San Juan Solar	100	La Guajira	San Juan del Cesar
Colomener VII SAS ESP	Parque Solar San Juan del Cesar 1	100	La Guajira	San Juan del Cesar
Colmener II S.A.S E.S.P	Parque Solar Toromoreno	99	La Guajira	San Juan del Cesar
Parque Solar Fotovoltáico San Juan S.A.S.	Parque Solar Fotovoltaico San Juan	70	La Guajira	San Juan del Cesar
MGM Sustanaible Energy S.A.S.	Proyecto de Generación de Energía Eléctrica con Paneles Solares Fotovoltaicos sobre la Cubierta del Almacen Sao - Olimpica de Riohacha	0,47	La Guajira	Riohacha
Sky Solutions Colombia S.A.S.	Sky Solutions Planta Solar Guajira 1	0,15	La Guajira	Uribia

		1.993		
--	--	--------------	--	--

Fuente: UPME, 2023.

La instalación de granjas solares en territorios étnicos requiere replantear la ruta seguida en los gobiernos anteriores para los parques eólicos de modo que se respeten los derechos de los pueblos indígenas y afrocolombianos.

Las comunidades de La Guajira, y en particular las Wayúu, han exigido el respeto a su propiedad colectiva y al dominio del Eirríku que está en la base. Esto significa el ejercicio del consentimiento previo, libre e informado desde la gestación de cualquier proyecto de inversión externa, respetando el derecho a veto y los usos y costumbres para la toma de decisiones.

No hay que olvidar que el Estado tiene una deuda histórica con este pueblo que ha sido mantenido sin servicios básicos de agua, saneamiento, electricidad, conectividad. Por esto la prioridad sentida por la población Wayúu es la dotación de servicios públicos a cargo del Estado, sin delegar a las familias y Eirríkus la responsabilidad de autogeneración para el consumo en las viviendas y sus actividades tradicionales. Y sin presentar la electrificación y demás servicios como si fuera el pago o la compensación por ceder el territorio o participar en alguna asociación.

Las propuestas de comunidades energéticas y de asociaciones para la electrificación solar de las rancherías han sido consideradas en La Guajira y en territorio Wayúu. Los voceros de las comunidades han reclamado información suficiente y oportuna sobre estos proyectos que identifican con el cumplimiento de la obligación estatal de garantizar los servicios públicos y no como una forma de privatización de las instalaciones y el mantenimiento.

Desde la década pasada los gobiernos han ofrecido el territorio Wayúu para proyectos de energía de multinacionales y grandes corporaciones y a cambio han prometido paneles solares para las rancherías. Los parques eólicos y grandes granjas solares se han promovido para que las empresas vendan energía al Sistema Integrado Nacional, según contratos hechos a espaldas de la gente y formalizados en subastas sin consulta previa. Dada la dificultad de contar antes de 2030 con redes de evacuación o colectoras suficientes, se ha considerado la idea de producir hidrógeno verde destinado en su mayor parte a la exportación (BID, 2020).

Se habla de un potencial, en el mapa y el Excel, de más de 20 GW de energía solar fotovoltaica que exigiría instalaciones en más de 30.000 hectáreas y también se proyecta antes de 2030 llegar a 6.000 aerogeneradores para producir más de 20 GW ocupando con parques, redes y vías buena parte del Resguardo de la Alta y Media Guajira (González y Barney, 2019). Esto sin contar los parques costa afuera y los proyectos de explotación de gas y reductos de carbón. Pero no se habla de lo que significaría semejante ocupación del territorio en “desplazamiento forzado por desarrollo” del pueblo Wayúu. En teoría sería una operación que exige superar problemas técnicos, sociales y financieros de alta dificultad. Esa perspectiva de ocupación y cambio de uso del territorio es incompatible con la pervivencia del pueblo Wayúu y supondría la determinación libre e informada de transformarse en empresarios o rentistas de la energía que seden el territorio por un siglo y se convierten en comunidades urbanas o en asalariados en otras tierras.

La hipótesis nula es aquella que se formula sabiendo su dificultad y sirve para analizar escenarios y prefigurar futuros. Si lo que se vislumbra es un desastre o cambio radical, la hipótesis nula ayuda a formular alternativas. Ese parece ser el caso de la idea de transformar el territorio del pueblo Wayúu en parques eólicos y solares.

En otra escala se encuentra la alternativa de concertar parques/granjas solares en un espacio delimitado, que sea compatible con la pervivencia del pueblo Wayúu si son ellos los que ponen de verdad las condiciones, armonizando iniciativas empresariales controladas con la permanencia de su identidad, autonomía y propiedad colectiva.

En los diálogos realizados en 2022 para definir la ruta de las energías renovables en La Guajira, las comunidades y autoridades distinguieron los proyectos fotovoltaicos en el sector urbano y áreas cercanas, de los proyectos para población rural en los resguardos y territorios guajiros.

La posibilidad de comunidades energéticas autónomas ha sido vista con limitaciones en un esquema de autogestión por las exigencias en mantenimiento y de almacenamiento. Suponiendo que la inversión en equipos, redes, infraestructura y personal calificado es garantizada por el Estado, preocupa la sostenibilidad del suministro de energía durante más de 25 años que es la vida útil de los paneles solares; agregando que las costosas baterías deben ser renovadas cada 5 años, en promedio, y con más frecuencia si están expuestas a los impactos ambientales cerca al mar. Esta tecnología está en acelerado cambio pero depende de los precios del plomo o del litio.

En zonas urbanas o de poblados de La Guajira el esquema considerado incluye la inversión y gestión pública con tarifas subsidiadas, acompañada de veedurías comunitarias. El municipio o las comunidades, según sus costumbres, asignarán los terrenos para la ubicación de los parques o para instalaciones menores.

En las zonas rurales de población dispersa se han considerado proyectos por predio o, si se trata de territorio étnico por resguardo, ranchería o Eirúku. Estas iniciativas pueden complementar los planes públicos de electrificación rural y acuerdos entre el Estado, comunidades y grandes proveedores (IPSE, 2023).

Las formas de asociación o el tránsito a comunidades de energía con autonomía dependen del nivel de organización en el territorio, del avance en la formación técnica y gerencial y de una rigurosa evaluación de costos y beneficios.

No escapa a la perspectiva de electrificación fotovoltaica la necesaria regulación de la producción que proyectan grandes empresas en La Guajira, algunas de las cuales pretenden hacerlo en territorio étnico Wayúu y al interior la línea negra que delimita el territorio de los pueblos Tayrona. Las que se proyectan en territorio étnico, ateniéndose a las malas experiencias de los enclaves eólicos, deberán pasar por el licenciamiento social y por considerar formas de asociación comunidad – estado – empresas.

Marco regulatorio

En Colombia, como en Latinoamérica, se ha seguido el patrón internacional de estímulo a las inversiones en energía solar y en otras fuentes no convencionales de energía renovable. El centro de atención ha sido dar ventajas a las grandes compañías para que tengan tasas de retorno más atractivas que en otras fuentes de energía o frente a opciones de inversión externa tradicional. Los países compiten en ajustarse al modelo de negocio que promueven los centros financieros y las multinacionales; lo hacen en líneas ya conocidas de exención y disminución de algunos impuestos, reducción de tiempo de depreciación de equipos, seguridad tributaria, establecimiento de tarifas preferenciales en las compras para la red nacional, control del mercado laboral, flexibilidad para el movimiento de capital y remesa de utilidades, entre otros.

Esas condiciones del modelo son la línea de base para cualquier país que pretenda diversificar la matriz de energía ampliando la oferta de fuentes no convencionales de energía renovable.

Entre las leyes y resoluciones más importantes aprobadas en Colombia para la expansión de la producción de energía renovable se encuentran:

Ley 1715 de 2014 que otorga incentivos para la generación, distribución y consumo de energía producida a partir de FNCER.

Ley 1719 de 2014 que promueve la eficiencia energética con energías renovables, incluidas la solar y eólica.

Ley 1716 de 2014 que promueve la investigación y desarrollo de energías no convencionales renovables y la mayor intervención del sector privado en los eslabones de la cadena.

Ley 1931 de 2018 que establece el régimen de generación distribuida; permite la autogeneración en empresas y residencias y la venta de excedentes a la red eléctrica nacional.

Resolución CREG 030 de 2018 que establece condiciones técnicas y comerciales para la conexión de los sistemas de generación distribuida de energía renovable a la red de electricidad nacional.

El foco de esa regulación ha sido ofrecer condiciones a las grandes empresas internacionales, dejando en segundo o tercer lugar aspectos cruciales para una transición justa y de seguridad energética. El reto desde Colombia y Latinoamérica es introducir variantes al modelo negociando condiciones más favorables en un sistema global controlado por las potencias contaminantes y sus corporaciones.

Rupturas necesarias para la explosión solar fotovoltaica

La perspectiva de la reorganización de la energía trae dilemas en muchos subsistemas de sociedades como la colombiana. Tal como están las rutas y retos actuales se tienen disyuntivas que marcarán un siglo:

Es un hecho a tener en cuenta que la tendencia actual, si no hay nuevas estrategias, es a pasar de una matriz de energía con predominio de la energía fósil producida en buena parte por empresas públicas a otra basada en FNCER dominadas por grandes multinacionales de los países de mayor desarrollo industrial y financiero.

En las próximas décadas la explosión solar fotovoltaica dependerá en gran medida de la oferta de paneles, acumuladores e insumos producidos en China, principal proveedor para los mercados en Europa y Norteamérica. Hay signos de ventajas en calidad y precios de la oferta de hidrolizadores chinos para la producción de hidrógeno verde en occidente.

La competencia por los grandes negocios de la transición incluye dominios de tecnologías de microprocesadores, nuevos conductores, computación cuántica; y, por el otro lado, la disputa por los minerales críticos para la producción con FNCER que se encuentran en países del sur y son escasos en EEUU y Europa.

Para Colombia y toda Latinoamérica la dinámica actual es ir detrás de la revolución tecnológica de la transición energética; en las condiciones actuales se tiende a imponer un colonialismo de tecnología ciega protegida por el secreto, por régimen de patentes y entrada de paquetes de maquinaria y equipo sin transferencia científica ni técnica que puedan dar autonomía o soberanía energética.

Estos problemas que son parte de la reorganización de la energía en la actual fase se multiplican con la apuesta de los centros de poder que promueven una transición sin cambiar el paradigma de segregación y de asimetría en el reparto del conocimiento y de los beneficios

de las revoluciones tecnológicas: una transición sin responsabilidad diferenciada y para un nuevo reparto transcolonial en la era digital y de la inteligencia artificial.

Desde Colombia las políticas y estrategias se han enunciado en las décadas pasadas con una visión de adaptación pasiva a las condiciones internacionales de la inversión en proyectos verdes con sus nuevas tecnologías. La desigualdad que está en el punto de partida de las transiciones hegemónicas es una camisa de fuerza con poco margen de maniobra para que países subordinados en el reparto mundial logren soberanía energética y romper paradigmas con criterios de justicia climática, equidad y contrapesos a la privatización de la energía y al dominio de grandes corporaciones.

La energía solar tiene diferencias en estas condiciones con respecto a la eólica, hidráulica, nuclear y otras renovables no convencionales. Pero no escapa a la necesidad de medidas hacia modelos alternativos al de los enclaves verdes o azules y a la imposición de las ventajas para grandes inversionistas que solo operan si mantienen rentas de monopolio y de sobre utilidades por control de la tecnología.

Como se ha señalado en esta investigación, se requieren reales avances en los convenios internacionales sobre pago por parte de los países y poderes contaminantes y responsables de los daños propios de la crisis climática a los países vulnerados. Las nuevas estrategias incluyen medidas ya identificadas en las cumbres y foros internacionales, como:

1. El fortalecimiento del Fondo Verde del clima para transferir recursos no reembolsables a los países menos desarrollados; cambio de deuda por acción climática;
2. Adoptar de medidas efectivas de transferencia de tecnología y formación de científicos, técnicos y demás personal necesario de alto nivel;
3. Impulsar la soberanía energética con un fuerte componente de intervención estatal y de producción de energía verde por parte de empresas públicas y mixtas;

4. Fortalecer la inversión de empresas nacionales desde las más grandes a las de pequeña escala;
5. Destinar grandes recursos públicos a la formación de profesionales y técnicos para la transición, a la investigación y desarrollo científico, con centros de innovación de punta en las universidades y entidades especiales dedicadas a apropiar y crear tecnologías para la transición energética y para la minería crítica;
6. Promover la fabricación en Colombia de paneles, baterías, electrolizadores y de partes para aerogeneradores;
7. Regular y fomentar la energía solar en espacios urbanos y en la construcción de inmuebles;
8. Hacer un ordenamiento territorial y ambiental para impulsar parques o granjas solares articuladas a la agroecología;
9. Respetar las condiciones particulares que exigen los pueblos étnicos para el desarrollo de proyectos en sus territorios;
10. Regular la minería para la transición identificando potencialidades en los metales críticos y estableciendo parámetros de reducción, mitigación y control de impactos;
11. Fortalecer la institucionalidad para la soberanía energética y la transición justa, democrática y ambientalmente responsable.

Todas esas líneas de acción han sido identificadas en documentos de política y en estudios académicos. Lo nuevo, con posibilidad de alterar el modelo hegemónico, serán las alianzas con centros de investigación y tecnología en el Norte y en Asia, unidas a la integración de políticas de energía como parte de un salto en la unidad latinoamericana.

Bibliografía

- AIE. (2022). *World Energy Outlook 2022. Resumen ejecutivo.* . Obtenido de AIE: World Energy Outlook 2022. Resumen ejecutivo. En <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022/executive-summary?language=es>
- AIE. (2023). Obtenido de World Energy Investment: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/8834d3af-af60-4df0-9643-72e2684f7221/WorldEnergyInvestment2023.pdf>
- BID. (2020). *Ruta del hidrógeno en Colombia.* Bogotá, D.C., Colombia.
- BID (2022). América Latina y los minerales críticos para la transición energética. Obtenido de <https://blogs.iadb.org/energia/es/america-latina-y-los-minerales-criticos-para-la-transicion-energetica/>
- Carralero, D. (14 de Enero de DANIEL CARRALERO 11:39 14/01/22). *Eulixe.* Obtenido de Eulixe: <https://www.eulixe.com/articulo/reportajes/pueden-minerales-criticos-impedir-transicion-energetica-i/20220114113956025017.html>
- Entrevista2. (15 de marzo de 2023). Normas para energía renovable en Colombia. Valledupar, Cesar, Colombia.
- Espitia, C. (2023). *Cartografía de registros de proyectos fotovoltaicos en Colombia a mayo de 2023.* Obtenido de <https://www.indepaz.org.co>
- González, C. (2023). *La crisis de la energía y los bemoles del cambio climático.* Indepaz. Obtenido de Sitio web de Indepaz: <https://indepaz.org.co/la-crisis-de-la-energia-y-los-bemoles-del-cambio-climatico-por-camilo-gonzalez-posso/>
- González, C. y Barney J. (2019). *El Viento del Este llega con revoluciones, Multinacionales en territorio Wayúu.* Bogotá: Indepaz.
- Grigas, A. (2016). *Beyond Crimea: The New Russian Empire.* New Haven: Yale University. Obtenido de <https://www.jstor.org/stable/48585332>

- IPCC. (30 de julio de 2022). *IPCC.Cambio Climático 2022: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad*: https://report.ipcc.ch/ar6/wg2/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf
- IPSE. (29 de junio de 2023). *Moderno sistema de generación de energía solar en Uribia*. Obtenido de IPSE.GOV.CO: <https://ipse.gov.co/blog/2023/06/29/moderno-sistema-de-generacion-de-energia-solar-para-comunidades-conectara-por-primera-vez-a-mas-de-mil-usuarios-en-uribia-la-guajira/>
- La República, (6 de marzo de 2023). *38-proyectos-de-energia-solar-en-funcionamiento-en-todo-el-territorio-nacional*. <https://www.larepublica.co/economia/ya-hay-38-proyectos-de-energia-solar-en-funcionamiento-en-todo-el-territorio-nacional-3560668>
- Ministerio de Economía de Argentina (2022). *Metales y Minerales Críticos para la Transición Energética*. Obtenido de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/metales_y_minerales_criticos_para_la_transicion_energetica_serie_de_estudios_para_el_desarrollo_minero_2.pdf
- Ocampo, E. (30 de junio de 2018). *Radio Red*. Obtenido de RadioRed: <https://www.youtube.com/watch?v=qcuke9j1WWk>
- Ocampo, E. (30 de junio de 2018). *UNAM*. Obtenido de “Desafíos de un modelo energético sostenible: México 2050”: https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2018_331.html
- PEN, (2020). *Plan Energético Nacional PEN. UMPE*. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2020_2050/Plan_Energetico_Nacional_2020_2050.pdf
- PEN, (2023). *Plan Energético Nacional 2022 – 2052*. UPME. No publicado
- SER, (2023). *Asociación de Empresas de Energía Renovable*. Obtenido de <https://ser-colombia.org/nuestros-asociados/>

UPME. (2023). Registro de proyectos de energía solar, corte a 30 de mayo de 2023. Bogotá, D.C., Colombia. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/siel/Inscripcion_proyectos_generacion/Registro_Mayo_2023.pdf