Imprimir

No cabe duda que la Energía y el Cambio climático son dos grandes vectores de decisión en el siglo 21. Los combustibles fósiles y el cambio de usos del suelo que asocian la deforestación con la ganadería extensiva y la agricultura con químicos explican en buena parte el calentamiento global. La humanidad se acostumbró a usar energía fósil, es decir petróleo, carbón y gas, directamente en la locomoción y fábricas como indirectamente en la electricidad y la calefacción. Este artículo busca contribuir a la discusión sobre el fracking como una tecnología sofisticada que tiene implicaciones sociales y ambientales muy importantes y por tanto aumenta los costos y riesgos del uso de combustibles fósiles; la discusión trasciende, va más allá, de la pugna partidista actual en Colombia. El fracking tiene implicaciones tecnológicas, económicas, sociales, culturales, ambientales y ecológicas más profundas, de fondo, que el gas, el petróleo y el carbón convencionales, que de por sí tienen implicaciones fuertes para la salud humana y el cambio climático.
Estados Unidos "descubrió" el fracking, – que es la combinación de fracturamiento hidráulico y perforación horizontal por etapas, de rocas como los esquistos y lutitas-, para extraer el petróleo o el gas "impregnado", en moléculas muy pequeñas en las rocas madre de estas formaciones, hace menos de 25 años , aunque ya había usado el fracturamiento hidráulico e incluso la perforación horizontal por separado; la unión de varias tecnologías le permitió dos saltos muy importantes: el primero, -no planeado-, fue el de reemplazar el carbón por el gas metano en la generación de electricidad lo cual resultó también en una disminución significativa de emisiones de gases de efecto invernadero, y el segundo, pasar de ser importador a exportador neto de petróleo y gas, hasta el punto que hoy es el primer exportador mundial de petróleo y el quinto de gas natural. Frente a este escenario de éxito es muy importante y ético incluir en el análisis los costos y riesgos asociados, pues la tecnología que se escoja debe ser la que resulte en mínimos costos y riesgos integrales económicos, ecológicos, tecnológicos, sociales y ambientales

La producción de gas y petroleo mediante el fracking presenta problemas sociales y ambientales, así como económicos y tecnológicos serios, muy superiores a los de la extracción convencional que no se han solucionado, o sólo parcialmente, en la interesante evolución de la técnica, que ha llegado al Fracking 4.0. Es muy importante familiarizarse con

la tecnología para no equivocarse en la percepción o juicio sobre la misma:

- En primer lugar, la diferencia entre la perforación convencional, que es vertical y llega a un depósito o caverna que contiene el combustible fósil líquido o gaseoso, rodeado de roca y se extrae gradualmente hasta agotarse, lo cual puede demorar muchos años con un mínimo esfuerzo de bombeo con los clásicos balancines que se observan al cruzar por zonas petroleras; Así por ejemplo, el campo La Cira-Infantas de Ecopetrol, cerca de Barrancabermeja existe desde 1918 y después de 108 años sigue aportando alrededor de 25 mil barriles diarios; En cambio, con el fracking no se llega a un depósito real del hidrocarburo, sino que "exprime" las pequeñas "burbujas" o gotas minúsculas contenidas en las lutitas y esquistos, que son formaciones que tienen innumerables capas delgadas entre las cuales se anidan las moléculas de petróleo o gas, por lo cual es común que un pozo de fracking tenga una vida útil rentable de unos tres años con un pico al año; para lograr una producción equivalente a la de un pozo convencional se necesitan alrededor de 10 o más pozos que consumen gran cantidad de agua, arena, aditivos químicos tóxicos hasta el punto que, según datos de Ecopetrol serían 48 millones de litros de agua (unos 2000 carrotanques) y 200 volquetas de arena; la presión de la actividad del fracking sobre un territorio es muchas veces mayor que la de la actividad petrolera convencional.
- Mientras que Ecopetrol ha perforado alrededor de 25 mil pozos en toda su historia en el Magdalena medio, se requerirían, según la misma compañía, alrededor de 10 mil pozos de fracking en el futuro para alcanzar una producción aceptable. Nuevamente, esto es de alto impacto en las comunidades.
- El fracking aplicó todo el ingenio petrolero de perforación y extracción, pues se perfora y una vez se detecta la formación se redirige el taladro en sentido horizontal para permanecer en dicha formación. Para ello es necesario oradar la roca a muy alta presión con agua y con sustancias químicas y arena para que se rompa su estructura, se genere porosidad y fluyan las partículas de hidrocarburo al mismo tiempo que la arena reemplaza o compensa la pérdida de la estructura de la roca preexistente; En síntesis, es admirable la sofisticación tecnológica para hacerlo, lo cual implica varias diferencias con la perforación convencional:

1. Se requiere gran presión para perforar para lo cual se usa gran cantidad de agua de un orden de varias veces la requerida por un pozo convencional; dependiendo de la zona, podría

presentarse un desbalance hídrico serio. En el caso del Magdalena medio, la existencia de ciénagas en gran cantidad es una señal de cuidado, por la importante función productiva y ecológica de las mismas.

2. Como se requieren varios pozos para alcanzar una producción continua, el uso del agua para perforar se multiplica por su número. La evolución desde fracking 1.0 hacia fracking 4.0 ha logrado un reciclaje importante del agua e incluso su reemplazo, aunque todavía muy incipiente, por CO2, parece contribuir a la disminución del uso del agua, para lo cual se requieren sistemas de tratamiento sofisticados y un control muy alto; la reinyección de los excedentes se ha asociado a generación de microsismos pues activan o incentivas fallas geológicas existentes.
3. Los lodos de producción, que son los materiales provenientes de la ruptura de la roca sumados al agua con alguna porción de las sustancias usadas para la perforación resultan en aguas tóxicas y con contenidos importantes de radiactividad, tales como el vanadio, azufre, molibdeno, níquel, cadmio, uranio y arsénico registrados en el caso del Magdalena Medio[1] que requieren de su disposición segura; una de las alternativas ha sido la de la reinyección hasta la formación geológica de donde se extrajeron, para lo cual requieren igualmente presión lo que se ha asociado a la producción de microsismicidad en relación estrecha con la existencia de fallas geológicas; el fracking 4.0 contiene avances muy importantes en cuanto al uso de las mejores tecnologías de 3D, simulación espacial y captura de información a tiempo real para acertar con más precisión la localización del estrato o formación geológica, lo cual ha logrado disminuir algunos de los efectos.
4. Las siglas BTEX corresponden a cuatro compuestos orgánicos volátiles (COV) que se encuentran de forma natural en el petróleo y el gas, pero que se liberan masivamente al aire y al agua durante el fracking: Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno. Debido a que son compuestos liposolubles (se disuelven fácilmente en grasas), atraviesan con extrema facilidad las membranas celulares y la barrera hematoencefálica, atacando directamente el sistema nervioso central (SNC):
   - Benceno: Es el más peligroso. Además de destruir las células de la médula ósea (causando anemia aplásica y leucemia), la exposición crónica destruye los neurotransmisores, provocando mareos severos, vértigo y pérdida del conocimiento.
   - Tolueno: Actúa de manera similar a los disolventes industriales. Provoca fatiga crónica,

debilidad muscular, pérdida de la memoria a corto plazo y, en exposiciones prolongadas, daño permanente en la capacidad auditiva y visual (pérdida de visión cromática).
- Etilbenceno y Xileno: Causan toxicidad neurológica aguda. Sus síntomas principales son la pérdida de coordinación motora (ataxia), dolores de cabeza punzantes (migrañas del fracking) e irritación extrema de las vías neurológicas respiratorias.

5. A pesar de que el fracking impulsó la independencia energética de EE. UU., tres estados con importantes reservas de hidrocarburos decidieron prohibir por completo la técnica priorizando la salud de sus ciudadanos basados en informes médicos:
- Nueva York (Prohibido en 2015): Tras una investigación de siete años dirigida por el Departamento de Salud del estado, se concluyó que los riesgos para el agua potable, el aire y la salud pública superaban cualquier beneficio económico. Fue el primer estado con grandes reservas de gas (en la formación Marcellus) en emitir una prohibición total.
- Maryland (Prohibido en 2017): Se convirtió en el primer estado con una prohibición legislativa permanente (aprobada por el Congreso estatal y firmada por un gobernador republicano). Los estudios locales demostraron que las zonas propuestas para el fracking coincidían con acuíferos críticos que abastecen a millones de personas.
- Vermont (Prohibido en 2012): Aunque sus reservas eran mínimas, fue el estado pionero a nivel nacional en prohibir la práctica de forma preventiva, sentando el precedente legal de que un estado puede anteponer la salud pública sobre los derechos de explotación mineral.

6. Riesgos Laborales y Mortalidad en la Industria; Los trabajadores de los pozos de fracking (*roughnecks*) enfrentan una de las tasas de mortalidad laboral más altas de todo Estados Unidos, hasta 7 veces mayor que el promedio de cualquier otra industria:
- Silicosis Aguda (El asesino silencioso): Para fracturar la roca se inyectan toneladas de arena fina de sílice. Al vaciarla en los pozos, se genera una nube de polvo invisible. Los trabajadores que respiran este polvo sufren silicosis, una enfermedad pulmonar incurable donde los pulmones se llenan de cicatrices, impidiendo el paso del oxígeno.
- Exposición a la Radiación: El agua que regresa de las profundidades del subsuelo (agua de retorno) arrastra materiales radiactivos naturales como el Radio-226 y Radio-228. Los trabajadores limpian tanques y tuberías sin saber que están recibiendo dosis de radiación ionizante muy por encima de los límites nucleares permitidos.
- Accidentes por Fatiga (Turnos de 14 horas): La cultura laboral del fracking exige jornadas

extremas de hasta 14 o 16 horas continuas por varias semanas. Esto provoca microsueños al operar maquinaria pesada o al conducir camiones cisterna en vías rurales, siendo los accidentes viales la causa número uno de muerte inmediata en el sector.

7. La fuga del gas metano, relacionada con las diferentes actividades de inyección y reinyección es importante, aunque se ha avanzado en ello; una molécula de CH_4 es 28 veces más dañina que una de CO_2 para el calentamiento climático. Se ha logrado su disminución a medida que se avanza en la sofisticación de la técnica de fracking y supuestamente el "fracking 4.0" ha logrado un control muy alto en comparación con los procesos iniciales. Sin embargo, subsisten fugas.
8. En Estados Unidos, un robusto cuerpo de más de 700 estudios epidemiológicos y científicos revisados por pares concluye que el fracking causa impactos negativos directos en la salud humana, afectando principalmente a las poblaciones que viven en un radio de hasta 10 millas (16 km) de los pozos activos. Escuelas de salud pública como la de la Universidad de Yale clasifican estas consecuencias en efectos de corto, mediano y largo plazo…los Principales Impactos en la Salud Humana señalados por estos estudios se refieren a:

- Sistema Respiratorio y Asma

  Ataques de asma severos: Quienes padecen de asma y viven cerca de operaciones de fracking activas tienen un riesgo de 4 a 5 veces mayor de sufrir ataques graves que requieran hospitalización de emergencia.

  Irritación crónica: La liberación de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) provoca tos persistente, hemorragias nasales, mareos y dificultad para respirar.

- Complicaciones en el Embarazo y Desarrollo Infantil

  Bajo peso al nacer: Existe una correlación directa entre la proximidad residencial a los pozos y el nacimiento de bebés con peso inferior al promedio.

  Partos prematuros: Mayor incidencia de nacimientos antes de la semana 37 de gestación y embarazos de alto riesgo.

  Alteraciones endocrinas: El "agua de retorno" y los fluidos del fracking contienen

cerca de 100 sustancias catalogadas como disruptores endocrinos, que alteran los sistemas reproductores y de desarrollo.

- Riesgos Oncológicos (Cáncer)

  Leucemia infantil: Estudios en zonas con alta densidad de pozos detectaron un incremento en casos de leucemia linfocítica aguda (LLA) en niños. [1]

  Exposición al Benceno: El benceno (parte del complejo tóxico BTEX usado y liberado en la extracción) se asocia con el desarrollo de varios tipos de cáncer. La EPA (Agencia de Protección Ambiental de EE. UU.) advierte que el riesgo de cáncer por benceno existe en cualquier nivel de exposición.

- Síntomas Sistémicos y Agudos (Corto Plazo)

  Migrañas y fatiga: Dolores de cabeza intensos y cansancio crónico debido a la continua exposición a gases y al estrés por contaminación acústica y lumínica nocturna.

  Afecciones dermatológicas: Lesiones en la piel similares a quemaduras químicas en personas expuestas a accidentes, derrames o vapores cercanos.

9. Desigualdad e Injusticia Ambiental. Los datos recolectados en estados como Pensilvania, Colorado y Texas demuestran que los impactos a la salud pública no se distribuyen equitativamente. Las operaciones de extracción suelen ubicarse de manera desproporcionada cerca de comunidades de bajos recursos, minorías étnicas y pueblos indígenas, agravando sus condiciones de vulnerabilidad previa frente al sistema de salud estadounidense. Los reclamos recientes de comunidades como las de Marietta, Ohio[2] en donde se han depositado “cientos de millones de galones de agua radioactiva[3] inyectándolos debajo de la ciudad” y están apareciendo en la superficie generando el riesgo de contaminación de las aguas de consumo de 32 mil habitantes” y de California, estas últimas con litigios al más alto nivel judicial, pues las empresas petroleras han hecho mucha presión al nivel federal más alto mientras las comunidades han recurrido a los sistemas de

justicia de los propios estados, continúan aún con todos los avances del fracking 4.0 puedan esgrimirse como soluciones totales a los problemas y riesgos.

10. El fracking 4.0 surgió desde la industria petrolera como respuesta a las continuas y crecientes protestas ciudadanas. Combina perforación inteligente, automatización con sensores en tiempo real, uso de fluidos biodegradables y gemelos digitales para optimizar la extracción de hidrocarburos y reducir el impacto ambiental en yacimientos como los de Vaca Muerta en Neuquén en Argentina; se han logrado avances en:
    - Perforación automatizada: Uso de sistemas guiados por inteligencia artificial y sensores en tiempo real para mayor precisión.
    - Fluidos alternativos: Sustitución parcial o total del agua por sustancias de menor toxicidad o biodegradables.
    - Monitoreo digital predictivo: Creación de réplicas virtuales (gemelos digitales) de los yacimientos para anticipar fallas o fracturas no deseadas.
    - Sistemas cerrados: Implementación de circuitos de recirculación y cementación con múltiples barreras para proteger los acuíferos. [1, 2]

    Sin embargo, el debate global entre quienes lo ven como un puente tecnológico clave para evitar un colapso energético y quienes denuncian que sus impactos ambientales siguen siendo severos continua ante las evidencias aportadas por comunidades y científicos que alertan que muchos riesgos estructurales persisten. Una síntesis de estas quejas y advertencias se presenta en la siguiente tabla:

Dimensión Ambiental	Promesa del Fracking 4.0	Realidad y Desafíos Actuales
Consumo de Agua	Uso de fluidos biodegradables, geles no acuosos y reciclaje del 100% del agua de retorno.	Sigue requiriendo millones de litros de agua dulce por pozo, compitiendo con el consumo humano.
Sismicidad Inducida	Monitoreo sísmico en tiempo real y "semáforos sísmicos" automáticos para detener la presión.	Localidades cercanas a los pozos reportan sismos frecuentes que dañan estructuras habitacionales.
Gases de Efecto Invernadero	Sensores láser e inteligencia artificial para detectar y sellar fugas de metano inmediatamente reemplazo de diesel por gas local para propulsión maquinas pozo	El metano continúa fugándose en la cadena de suministro, con un potencial de calentamiento global masivo de 28 veces más que el CO2.
Gestión de Residuos	Plantas de tratamiento automatizadas y lodos de perforación menos tóxicos.	Acumulación de "montañas de residuos" petroleros y lodos contaminantes cerca de zonas urbanas.
Presión Territorial	Optimización de procesos y materiales	Intensidad de 10 veces más camiones, instalaciones, pozos y lodos de perforación

El Fracking en América Latina. La discusión y práctica del fracking se encuentra en la actualidad en esta etapa:

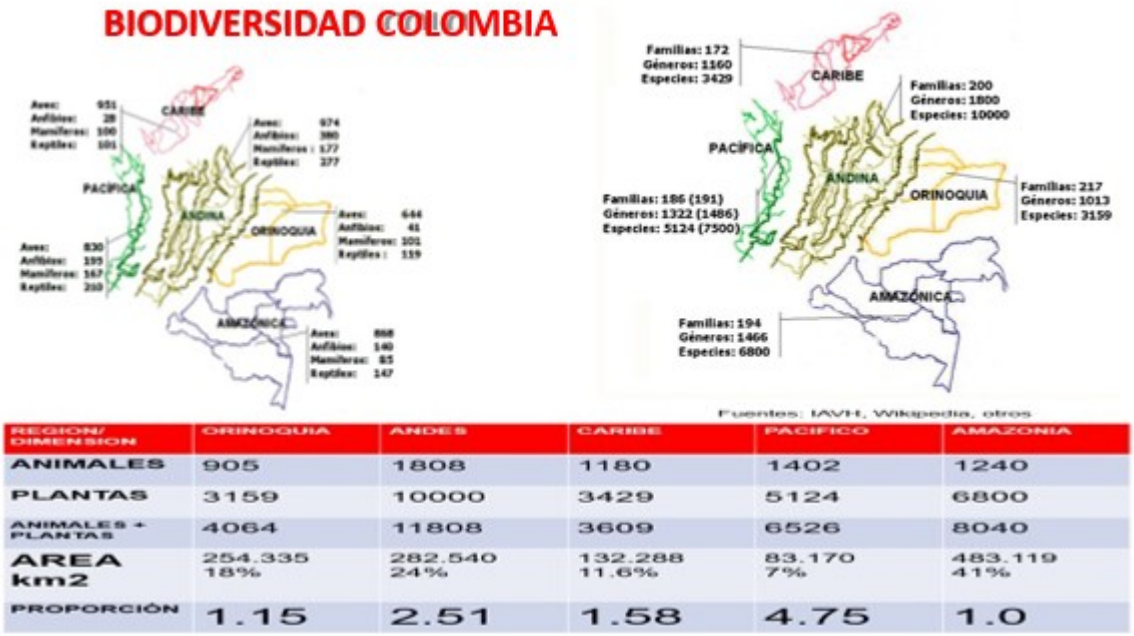
- Argentina (El epicentro regional): En el megaproyecto de Vaca Muerta en Neuquen la técnica Fracking 4.0 parece consolidada con perforación horizontal masiva, aunque enfrenta fuertes resistencias de comunidades locales y pueblos originarios debido al impacto en tierras agrícolas y recursos hídricos.
- Colombia (Debate y tensiones políticas): El país experimenta una fuerte controversia energética. Se está presentando una ley que prohíbe el Fracking por sus riesgos a la salud y al ambiente, hay una propuesta de pilotos de fracking para priorizar la transición hacia energías limpias y los gremios del sector y sindicatos petroleros como la Unión Sindical Obrera (USO) presionan fuertemente para iniciar su ejecución ante una escasez de reservas de gas natural, la puesta en marcha de un proyecto de fracking puede tomar de 2 a 4 años.
- México: Aunque cuenta con importantes recursos no convencionales similares a los de EE. UU., el enfoque gubernamental de la presidenta Claudia Sheinbaum ha sido restrictivo, aunque recientemente ha creado una comisión de estudio de su viabilidad, pero por el momento se mantiene la limitación de la técnica a gran escala para proteger los acuíferos nacionales.

12. América Latina se convierte gradualmente en región de petróleo y gas con los

descubrimientos en Brasil, Argentina, Surinam y Guayana Francesa y por las reservas de Venezuela, el más grande reservorio del mundo, pero también tiene vientos y sol y geotermia en cantidades importantes. Sin lugar a dudas, Vaca Muerta en Neuquén en Argentina constituye hoy un referente incluso en fracking 4.0, en el cual se ha logrado reciclaje del agua, uso de sustancias biodegradables, automatización y simulación sofisticadas, pero subsiste el reclamo comunitario y la evidencia de grandes depósitos de lodos potencialmente tóxicos asociados también a sustancias radioactivas provenientes de las formaciones afectadas.

13. La nueva dimensión de las energías renovables de sol y viento además de las hidroeléctricas, la biomasa, la geotermia, permiten vislumbrar también para américa latina una perspectiva de suficiencia energética en la medida en la cual avancemos hacia las nuevas energías, como lo han hecho Costa Rica, Uruguay, Brasil y un poco México y Chile.
14. En el caso de Colombia los descubrimientos de gas offshore a 42 kilómetros de Santa Marta de SIRIUS 1 y 2 (ante Uchuva), SANDÏA 1 y COPOAZÜ, que podrían hacerse mediante explotación convencional, su horizonte de tiempo está entre 4 a 10 años.
15. CONDICION ESPECIAL DE COLOMBIA. Colombia es el país de mayor biodiversidad por kilómetro cuadrado, lo cual es muy diferente a la mención generalizada de que somos el segundo país en número de especies, pues el primero en ese caso sería Brasil, pero con la consideración adicional que ellos han explorado y estudiado mucho más su biodiversidad. No es lo mismo tener alrededor de la misma cantidad de especies en una superficie 6,5 veces mayor como es el caso de Brasil con 8,5 millones de kilómetros cuadrados que en Colombia con 1,14 millones de kilómetros cuadrados, además en topografías y condiciones ambientales muy diferentes por la existencia de las cordilleras andinas y el chocó biogeográfico, la Orinoquia, la amazonia colombiana y el caribe. La gráfica siguiente ilustra la enorme biodiversidad colombiana, que contiene más especies por kilómetro cuadrado en todos los demás ecosistemas que en el mismo amazonas; por ello cualquier decisión de actividades humanas intensivas como el fracking requieren el estudio muy detallado de sus posibles impactos tanto humanos como al resto de organismos vivos. Se menciona que hay 14 zonas o regiones susceptibles de fracking en Colombia, dentro de las cuales el Magdalena Medio es una de ellas. Se requiere profundizar urgentemente tanto en el conocimiento ambiental como incluso geológico e hidrogeológico de las mismas antes de tomar decisiones

apresuradas.



REGION/ DIMENSION	ORINOQUIA	ANDES	CARIBE	PACIFICO	AMAZONIA
ANIMALES	905	1808	1180	1402	1240
PLANTAS	3159	10000	3429	5124	6800
ANIMALES + PLANTAS	4064	11808	3609	6526	8040
AREA km2	254.335 18%	282.540 24%	132.288 11.6%	83.170 7%	483.119 41%
PROPORCIÓN	1.15	2.51	1.58	4.75	1.0

Los mapas señalan la cantidad de especies de animales y de plantas existentes en cada uno de los cinco grandes ecosistemas terrestres de Colombia; al sumar todas las diferentes especies y dividirlas por el área de cada gran ecosistema, es sorprendente apreciar que, si tomamos la amazonia como valor de comparación de UNO, (1,0), todas las demás son superiores. Por ello debemos actuar con mucho cuidado, pues la principal riqueza de Colombia, aunque no la hayamos comprendido ni estudiado es precisamente la biodiversidad, sobre la cual deberíamos construir nuestra verdadera estrategia de futuro.

16. Es importante tener presente que además del gas o del petróleo asciende también una cantidad de lodos y agua asociados a la ruptura de las rocas, que contienen importantes cantidades de metales pesados y materiales radiactivos, como lo demuestran en el Magdalena medio colombiano los estudios muy recientes del SGC, un centro de investigación de alto nivel[4], que al respecto señala:

> “El valle medio del Magdalena guarda una historia geológica de más de 100 millones de años. En sus rocas se conserva información clave sobre la formación de los hidrocarburos del país y sobre la presencia de algunos elementos químicos que, bajo determinadas condiciones, podrían representar riesgos para la salud humana y los ecosistemas. Entre 2023 y 2026, el Servicio Geológico Colombiano (SGC) realizó una caracterización detallada de estos elementos, evaluando tanto rocas antiguas expuestas en superficie como núcleos de perforación (conocidos como testigos de roca) extraídos de pozos petroleros de la región y que se encuentran almacenados en la Litoteca Nacional a cargo del SGC. Para ello se emplearon técnicas de laboratorio que permiten determinar la composición química y mineralógica de las rocas, así como equipos portátiles para medir directamente la concentración de elementos químicos en los núcleos de perforación.
>
> Los resultados revelaron que la distribución de elementos potencialmente peligrosos es heterogénea entre las unidades geológicas estudiadas. Las mayores concentraciones identificadas corresponden a elementos como vanadio, azufre, molibdeno, níquel, cadmio, uranio y arsénico y se localizan en las formaciones Galembo, Salada y La Renta, así como en las formaciones “Simití” y “Salada” en la zona sur de la cuenca. En contraste, las formaciones Pujamana y Umir, junto con la formación “Pujamana” de la zona sur, exhiben menores concentraciones. Además, se determinó el posible origen geológico y los mecanismos que los acumularon. Se logró demostrar que esta cuenca genera en su mayoría petróleo y muy poco gas, dadas las condiciones geológicas que afectaron la conversión de la materia orgánica en hidrocarburos. Este estudio es importante para tomar decisiones informadas sobre la exploración y explotación de hidrocarburos en rocas generadoras *fracking*, la gestión ambiental del territorio, la protección de las comunidades y ecosistemas que constituyen estos territorios”.

17. En el caso de Colombia, la importación de gas proveniente del fracking de la formación Permian de Texas en los Estados Unidos, resulta muy onerosa, pues requiere su conducción

por gasoducto a puerto, su enfriamiento a -260 grados C., su transporte marítimo desde Texas a algún puerto colombiano que cuente con sistema de regasificación, que serían Buenaventura y Cartagena principalmente, aunque Coveñas parece que cuenta con unas propuestas además del costo de localizarlo a través del oleoducto, a los sitios de reparto o comercialización tendría un costo aproximado de 6 centavos de dólar por metro cúbico o sea U$17 / Millón de BTU al convertirlos en electricidad[5]. Ese precio, aunque en el gas puede ser regulado nacionalmente, tenderá a convertirse en el patrón de comparación o referencia de precios, pues los commodities tienden hacia sus precios internacionales, como el caso del petróleo. A medida que dependemos más de la importación de gas para respaldar el sistema eléctrico nacional, el precio del kilovatio/ hora subirá hasta valores bastante altos pues el precio se consolida bajo el principio del "ultimo kw vendido". De ahí la importancia de considerar alternativas de producción de gas natural como la de biodigestión de cultivos energéticos como pastos gigantes o el aumento del contenido de biocombustibles, bajo esquemas asociativos público-privados-populares, que a los precios internacionales actuales del gas de fracking, resultan ya muy factibles, con muchas ventajas y pocos riesgos y limitaciones en el caso colombiano.

18. Diferencias geológicas entre Estados Unidos y Colombia
    La geología de los Estados Unidos y la de Colombia es muy distinta en escala, variedad de eras geológicas y estabilidad tectónica, aunque comparten la imponente cadena montañosa de la Cordillera de los Andes (que en EE. UU. se continúa como las Montañas Rocosas). La principal diferencia radica en que Estados Unidos posee un "corazón" continental antiguo, plano y muy estable, mientras que Colombia es un territorio geológicamente joven, sumamente activo y en constante construcción tectónica.

- Edad de las rocas: Estados Unidos tiene un núcleo continental llamado el Cratón de América del Norte con rocas de hasta 4,000 millones de años. Colombia es mucho más joven; la mayor parte de su territorio actual se consolidó en los últimos 100 millones de años por el choque de placas oceánicas.
- Estabilidad tectónica: Más de la mitad de EE. UU. (el centro y el este) es sísmicamente inactiva. En contraste, Colombia está ubicada en una "esquina" de alta compresión donde interactúan tres placas tectónicas activas (Nazca, Caribe y Suramericana), lo que genera

sismos constantes.

- Vulcanismo activo: En EE. UU., el vulcanismo activo está confinado al noroeste (Cordillera de las Cascadas, como el Monte Santa Helena) y a puntos calientes como Yellowstone o Hawái. En Colombia, el vulcanismo activo atraviesa todo el eje de la Cordillera Central con sistemas muy dinámicos (como el Nevado del Ruiz o el Galeras).
- Topografía y Llanuras: EE. UU. posee planicies y cuencas sedimentarias gigantescas y antiguas en su zona central. Las llanuras colombianas (la Orinoquía y la Amazonía) son cuencas de antepaís formadas por el peso y el sedimento joven arrastrado desde el levantamiento de los Andes.

A pesar de las diferencias significativas, ambos países forman parte del Cinturón de Fuego del Pacífico. Esto hace que sus costas occidentales compartan rasgos similares como la Subducción oceánica: La placa de Juan de Fuca se hunde bajo el noroeste de EE. UU., de forma idéntica a cómo la placa de Nazca se hunde bajo el occidente de Colombia y el Surgimiento de cordilleras: Este proceso de subducción es el responsable directo de la creación de las Montañas Rocosas y la Sierra Nevada en Norteamérica, y de las tres cordilleras (Occidental, Central y Oriental) en Colombia.

Corto y mediano plazo en el sector eléctrico colombiano

El nuevo libro, “Transición Necesaria”, creación colectiva de cinco estudiosos de la energía colombiana, Isaac Dyner, Enrique Ángel, Yorley Palacios, Andrick Parra y Diego Gómez, profesionales que han dedicado su vida a temas de la energía y del clima, que nos permite abrir la conversación en el tema eléctrico; posteriormente nos referiremos al tema de hidrocarburos y más adelante al tema de la minería que ahora está más imbricada con el tema de la energía por la necesidad de materiales raros de las energías renovables. En su libro Dyner y sus colegas nos recuerdan que el pago por electricidad como proporción del ingreso mensual es muy desigual en Colombia. Mientras que el decil inferior gasta 16% de sus ingresos, el más alto no llega a 1,5% y el 31% de los hogares se encuentran en condiciones de pobreza energética. Esto contrasta con un 15% de pobreza energética en los hogares urbanos de américa latina y un 40% en las zonas rurales.

Dyner y colegas generan cuatro posibles escenarios futuros: La Casa en Llamas, Greta, Extractivismo Renovable y Democracia Verde. Los más contrapuestos son el primero y el último: el primero es que el país siga con su esquema de hidroeléctricas de base y térmicas de respaldo principalmente y genera desde la zona andina enviando energía para el resto del país, especialmente hacia la región caribe; En cambio, la Democracia Verde es un giro fuerte, de 180 grados, hacia energías renovables para la generación eléctrica, de sol, viento e hidroeléctricas con aportes de biomasa, sin térmicas, en el cual la región Caribe envía al interior toda la electricidad generada principalmente en la Guajira a partir de generación eólica y solar. Es decir, un nuevo esquema, que han hecho varios países como Noruega, que exporta prácticamente todo el petróleo que extrae o Uruguay o Costa Rica con viento, hidro y solar casi al 100%. Es muy importante tener en cuenta el costo nivelado de la energía en sus diferentes formas (LCOE en Inglés) que demuestra el descenso muy importante de costos tanto de las energías solar y eólica y más recientemente de las baterías, pues son tecnologías muy recientes en su desarrollo masivo (aunque fueron “descubiertas” a mediados del siglo 20); debemos esperar aún más descensos, lo cual abre muchas posibilidades adicionales para nuestros países.

Dado que vivimos el enorme reto inmediato del fenómeno de EL Niño, que es superfuerte en esta ocasión, debemos considerar medidas de urgencia como la promoción y facilitación de la instalación de sistemas IN SITU de energía solar con baterías en parques industriales especialmente y en conjuntos residenciales, así como también propiciar la instalación de calentadores solares de agua, pues el calentamiento de agua que significa entre el 13 y 25% en los hogares y alrededor o menos del 5% en las industrias. Debemos considerar rápidamente normas y decretos que simplifiquen trámites, incentiven con descuentos o subsidios la instalación y educar a la población en este sentido.

Las dos tablas adjuntas presentan el escenario tanto de potencia instalada como el de producción de energía correspondientes del escenario DEMOCRACIA VERDE, que es la versión “positiva” o esperanzada de la evolución del sistema energético colombiano. La capacidad instalada de potencia en 2023 , de 22.573 MW pasa a 59.608 MW en 2035 y a 110.421 MW en 2050 resaltando el crecimiento de la participación de la energía solar de

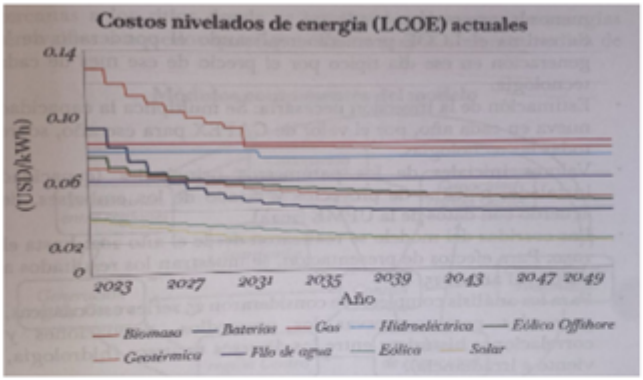
10,5% a 26,95%, de la eólica, de 0,08% a 20,84% y baterías de 0,0% a 13,03%, así como de solar distribuida de 3,09% a 13,79% y baterías distribuidas de 0,0% a 3,25%; baterías de 0,0% a 13,03% y finalmente biomasa de 0,78% a 3,06%; todas estas adiciones a la matriz convencional y su reemplazo parcial resultarían en ese aumento importante de la potencia instalada en cinco veces en 27 años y en generación de energía de 225.000 GWh/día a 568.335 GWh/día.[6] En síntesis, los colombianos tenemos que jugarnos al escenario DEMOCRACIA VERDE propuesto por el equipo del libro “Transición Necesaria” que sería además el que nos lleva a cumplir el “mandato” de las últimas COP de cambio climático, que proponen el 3×2 (triplicar las energías renovables y duplicar el ahorro y uso eficiente de electricidad) si queremos no sobrepasar los 1,5 grados centígrados de aumento de la temperatura global. En Colombia hay un gran campo para el ahorro y uso eficiente de la energía como lo demuestra el gráfico adjunto.

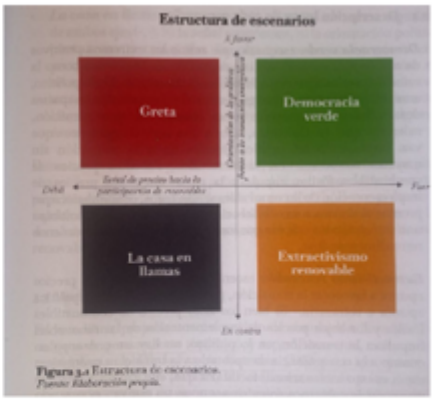
		2023		2035		2050	
		Potencia MW	%	Potencia MW	%	Potencia MW	%
FUENTE/ TECNOLOGIA	ESCENARIO						
Hidroeléctricas con embalse	Casa en Llamas	11618.0	55.3	12.818	32.9	12818.0	28.0
	Democracia Verde	11618.0	51.5	14022.0	23.5	14022	12.7
A filo de Agua	Casa en Llamas	1098.0	5.2	1.435	3.7	1435.0	3.1
	Democracia Verde	1690.0	7.5	3037.0	5.1	3037.0	2.7
Viento Terrestre	Casa en Llamas	19.9	0.1	3.648	9.4	3812.0	8.3
	Democracia Verde	19.9	0.1	11658.0	19.6	14305.0	13.0
Viento en el Mar (off shore)	Casa en Llamas	0	0	494.0	1.3	623.0	1.4
	Democracia Verde	0	0	5597.0	9.4	8713.0	7.9
Solar Dispersa	Casa en Llamas	931.0	4.4	5673.0	14.6	6000.0	13.1
	Democracia Verde	2371.0	10.5	13717.0	23.0	29754.0	27.0
Solar Distribuida	Casa en Llamas	304.0	1.4	886.0	2.3	2543.0	5.5
	Democracia Verde	697.0	3.1	4913.0	8.2	15232.0	13.8
Baterias Dispersa	Casa en Llamas	0	0	5.169	13.3	5.740	12.5
	Democracia Verde	0	0	3220.0	5.4	14390.0	13.0
Baterias Distribuida	Casa en Llamas	0	0	103.0	0.3	599.0	1.3
	Democracia Verde	0	0	470.0	0.8	3592.0	3.2
BIOMASA	Casa en Llamas	175.0	0.8	650.0	1.7	1925.0	4.2
	Democracia Verde	175.0	0.8	1850.0	3.1	3375.0	3.1
GEOTERMIA	Casa en Llamas	0	0	150.0	0.4	2370.0	5.2
	Democracia Verde	0	0	1030.0	1.7	4000.0	3.6
GAS FOSIL	Casa en Llamas	3.945	18.8	4995.0	12.8	4995.0	3.6
	Democracia Verde	3189.0	14.1	94.0	0.2	0	0
COMBUSTIBLE LÍQUIDO	Casa en Llamas	1.255	6.0	1255.0	3.2	1255.0	2.7
	Democracia Verde	1149.0	5.1	0	0	0	0
CARBON	Casa en Llamas	1.665	7.9	1665.0	4.3	1665.0	3.6
	Democracia Verde	1665.0	7.4	0	0	0	0

Fuente original: libro “Transición Necesaria” 2026; Correcciones y ajustes, Carlos Fonseca 2026.

		2023		2035		2050	
		Energía MW/h-d	%	Energía MW/h-d	%	Energía MW/h-d	%
FUENTE/ TECNOLOGIA	ESCENARIO						
Hidroeléctricas con embalse	Casa en Llamas	181761.0	84.2	190055.0	68.15	206527.0	53.8
	Democracia Verde	183473.0	81.5	148959.0	43.6	134812.0	23.7
A filo de Agua	Casa en Llamas	7200.0	3.3	7200.0	2.6	7200.0	1.9
	Democracia Verde	7200.0	3.2	7200.0	2.1	7046	1.2
Viento Terrestre	Casa en Llamas	13.8	0.1	34375.0	12.5	36702.0	9.6
	Democracia Verde	13.8	0.1	45664.0	13.4	78334.0	13.8
Viento en el Mar (off shore)	Casa en Llamas	0	0	7117.0	2.6	8972.0	2.3
	Democracia Verde	0	0	34858.4	10.2	60828.0	10.7
Solar Dispersa	Casa en Llamas	4558.0	2.1	10222.0	3.7	12722.0	3.3
	Democracia Verde	11608.0	5.2	48015.0	14.1	68107.0	12.0
Solar Distribuida	Casa en Llamas	1486.0	0.7	3895.0	1.4	17967.0	4.7
	Democracia Verde	3413.0	1.5	21890.0	6.4	59490.0	10.5
Baterías Dispersa	Casa en Llamas	0	0	16322.0	5.8	14868.0	3.9
	Democracia Verde						
Baterías Distribuida	Casa en Llamas			339.0	0.1	1757.0	0.5
	Democracia Verde	0	0	21890.0	6.4	59490.0	10.5
BIOMASA	Casa en Llamas	0	0	1508.0	0.5	17967.0	4.7
	Democracia Verde	0	0	571.0	0.2	0	0
GEOTERMIA	Casa en Llamas	0	0	3240.0	1.2	51192.0	13.3
	Democracia Verde	0	0	22248.0	6.5	86400.0	15.2
GAS FOSIL	Casa en Llamas	19722.0	9.2	4217.0	1.5	13622.0	3.6
	Democracia Verde	16701.0	7.4	0	0	0	0
COMBUSTIBLE LÍQUIDO	Casa en Llamas	517.0	0.2	0	0	979.0	0.3
	Democracia Verde	979.0	0.4	0	0	0	0
CARBON	Casa en Llamas	537.0	0.3	0	0	1476.0	0.4
	Democracia Verde	1489.0	0.7	0	0	0	0

Fuente original: libro “Transición Necesaria” 2026; Correcciones y ajustes, Carlos Fonseca 2026





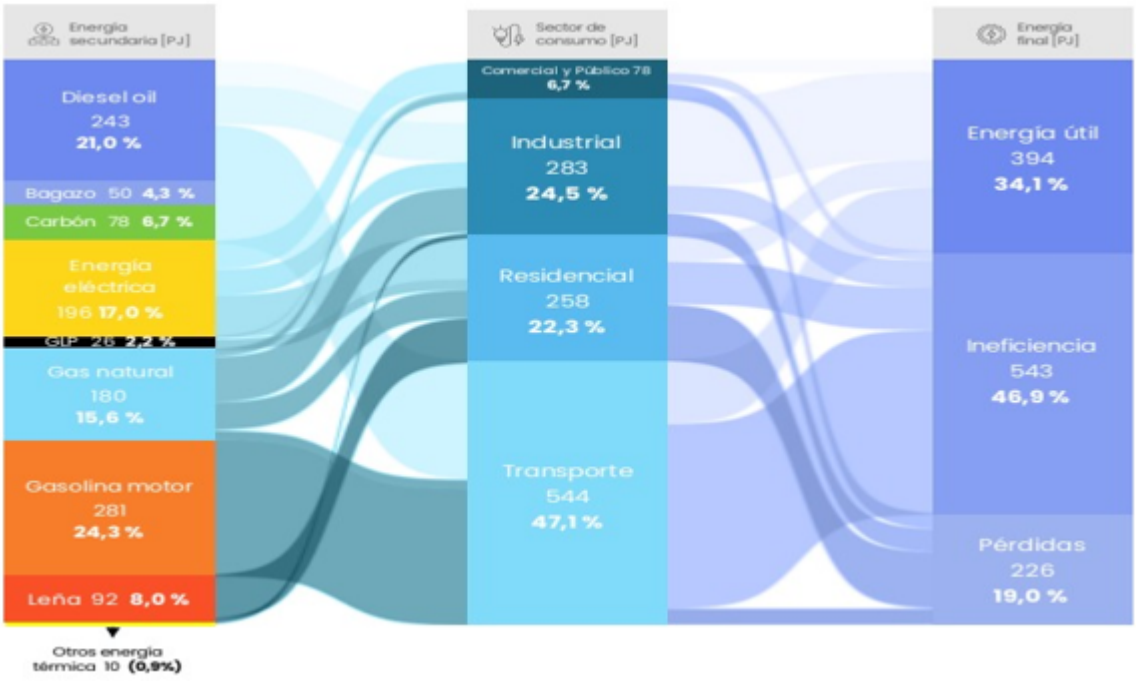


ESCENARIOS	2023		2035		2050	
	POTENCIA	ENERGIA	POTENCIA	ENERGIA	POTENCIA	ENERGIA
	MW	MW/H-día	MW	MW/H-día	MW	MW/H-día
LA CASA EN LLAMAS	21000.0	215968.0	38940.0	278859.0	45780.0	384106.0
DEMOCRACIA VERDE	22573.0	225000.0	59608.0	341529.0	110421.0	568335.0

En Colombia debemos proponer en su orden un “2X3”, por que debemos duplicar inmediatamente el ahorro y uso eficiente de la energía en todas sus formas y no solamente triplicar la energía renovable para suplir también el desperdicio energético que puede llegar a ser hasta del 40% según el Ministerio de Minas y Energía. La gráfica siguiente ilustra sobre estas dimensiones, que son realmente dramáticas en Colombia, como se puede apreciar, pues mientras que la energía útil significa el 34,1% con 394 unidades, la ineficiencia significa el 46, 9% con 543 y las pérdidas el 19% con 226 unidades; no cabe duda que debemos atender el frente del ahorro y uso eficiente de la energía en todas sus formas, tanto eléctricas como fósiles. Es importante tener presente que todos los procesos de combustión generan entropías importantes y por ejemplo en el caso de los automotores además de su ineficiencia energética (los motores a gasolina más eficientes están en rangos de 20 a 35% de uso real de la energía para desplazamiento, mientras que el resto se disipa en calor y los motores diesel son un poco más eficientes, pero ambos emiten gran cantidad de gases y particular con calor asociado, que también se trasmite a los sólidos y líquidos del motor. La conversión a electricidad del parque automotor, especialmente de camiones, buses y vehículos de servicio público debe tener una prioridad grande, como medida de ahorro de

energía, pues estos vehículos eléctricos tienen una eficiencia energética mayor de 80 a 90%.

Igualmente, en el uso doméstico, institucional e industrial de la energía tanto fósil como eléctrica proveniente de cualquier fuente, tenemos una “incultura” de derroche, que afecta significativamente tanto las facturas como el precio. Tenemos unas ineficiencias del 46,9% y unas pérdidas del 19,0% y no las hemos atendido.



Fuente: Ministerio de Minas y Energía. 2024.

Las energías solar y eólica han experimentado unas disminuciones de costos dramáticas en los últimos años: de 2010 a 2021 la solar experimentó una reducción del 89% mientras que la eólica fue de 68%. Todo esto resulta en Costos Nivelados de Energía (LCOE en inglés) de U$0,035 /KwH en la energía solar y de U$0,24 /KwH en la eólica en 2021, lo cual resulta mucho más bajo que la operación de las plantas térmicas a carbón e incluso a gas natural. Todo lo anterior se afecta positivamente más por la llegada de las baterías de almacenamiento de respaldo que garantizan la disponibilidad de energía en las horas pico,

que ha sido una función de las térmicas en el sistema colombiano.

Una consideración adicional en el caso Colombiano, es la necesidad de modernización y repotenciación de las hidroeléctricas existentes y el aumento de su capacidad de almacenamiento ante lo cual agregamos un elemento de complejidad: a medida que se va manifestando el cambio y la variabilidad climática , se empiezan a ver fenómenos como la llegada del frente frio del ártico que trajo consigo gran cantidad de lluvias a la cuenca del río Sinú por que descargó gran cantidad de agua en el Nudo de Paramillo y lo ideal hubiera sido contar con buena capacidad de retención del agua en el embalse, que estaba totalmente lleno bajo la previsión convencional de guardar agua para el verano andino. El mismo caso con Hidroituango que se encontraba lleno. Será necesario un ejercicio permanente de simulación bajo escenarios probables climáticos para lograr calibrar de nuevo las cotas de llenado y descarga de acuerdo a las probabilidades complejas de la zona intertropical en que vivimos.

Colombia cuenta con un promedio de 4, KWh/M2/día de energía solar, puesto que la Guajira tiene alrededor de 6,0 a 6,5 KWh/M2/ Día y Amazonas y Chocó por lo “toldados” de nubes alrededor de 3,0 KwH/M2/Día; esto significa un potencial de energía fotovoltaica de 8 mil GW, que es 400 veces la capacidad energética instalada actual. De la misma manera, contamos con vientos de 9 M/s en la Guajira terrestre mientras que costa afuera al frente de Santa Marta serían de 15 M/s, similares a los de Puerto Arenas al sur de Chile en su franja terrestre, en donde planean producir combustibles sintéticos gracias a la producción muy económica de hidrogeno a partir de electrólisis con energía eléctrica a partir del viento. Es decir, que Colombia tiene aproximadamente 35 GWs de potencia posibles en energía eólica.

No podemos olvidar que Chile cuenta también con gran potencial de energía solar y eólica en el desierto de Atacama, que empieza a desarrollarse, al igual que el Litio para las baterías; Sin lugar a dudas es una potencia energética renovable en el siglo 21. En el escenario de Democracia Verde, pasaríamos de tener 20 GW de potencia instalada en 2023 a 112 GW en 2050 con fuerte inversión del sector privado y se podría pensar en una reducción de tarifas del orden de 42% de los niveles actuales, lo cual sería de un enorme valor para toda la

sociedad; por ello, consideramos que propuestas recientes del gobierno Petro como las de "repatriar" los fondos de pensiones para que inviertan su enorme cantidad acumulada en el sistema eléctrico colombiano garantizándoles una ganancia adecuada, sería un doble triunfo, puesto que tendrían asegurada su rentabilidad y estarían potenciando totalmente al país, lo cual redundaría en la estabilidad y rentabilidad de los mismos fondos. En el escenario de La casa en Llamas, el crecimiento sería aproximadamente la mitad, es decir, de 20 GW de potencia instalada se llegaría a un orden de 60 GW, insuficiente para las demandas de la sociedad y con externalidades ambientales y climáticas fuertes, lo cual lo haría insostenible social y económicamente.

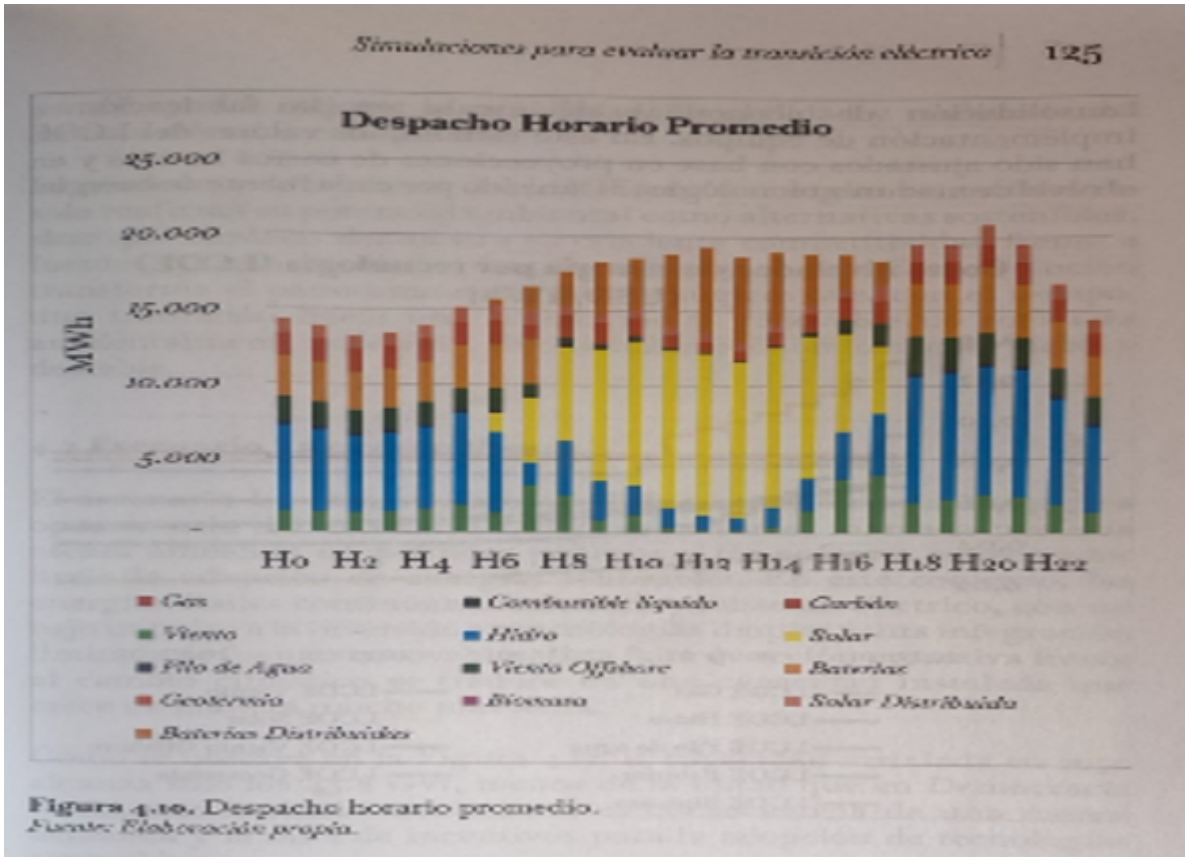
Es importante tener claro el contexto Colombiano sobre el cual hacen Dyner y sus asociados la propuesta; Colombia es un país con una matriz energética deficitaria porque la oferta es casi de las mismas dimensiones de la demanda, y es basada tanto en energía fósil (en forma líquida, carbón y gas), con una parte importante de plantas obsoletas, que a falta de suficiente oferta de bajo costo,- como serían las energías renovables-, opera en el límite de los costos marginales, franja en a cual la ineficiencia es la que determina los precios, dando como resultado unas rentas muy altas para los demás generadores, es decir los de hidroelectricidad, que en el caso de EPM y EMCALI y otros generadores resulta en que busquen maximizarlas haciendo operar las termoeléctricas en la mayoría de ocasiones posibles. Recordemos que los precios marginales se configuran con el costo del último barril necesario en el caso del petróleo y en este caso con el último kilovatio generado, que es en la mayoría de ocasiones proveniente de las térmicas cuyos costos de operación son más altos; cuando esto pasa, todos los demás ganan una gran cantidad, que se configura como la distancia entre sus costos de operación, que son mucho más bajos en hidroeléctricas, eólicas y solares y los precios del último kilovatio generado con térmicas; por eso, celebramos que el gobierno Petro rompió ese tabú, al establecer precios diferenciales entre estos tres tipos de plantas , que rondan cerca de los $400/Kwh mientras que los provenientes de térmicas serían alrededor de $900/KWh.; Esto no es el mercado internacional del petróleo y en cambio es un servicio público que debe garantizar, de acuerdo a las leyes 142 y 143 de 1997 una ganancia establecida por los prestadores, pero no la renta que se produce por la aplicación exegética del precio marginal.

No debemos olvidar tampoco que hoy la generación eléctrica en Colombia está concentrada en unos pocos agentes, que tienen poder de influencia gremial y ante el gobierno, lo cual sumado al déficit de líneas de trasmisión que resultan en restricciones severas pagadas por el consumidor final, y todo ello también adobado con precios de distribución tasados de manera inadecuada, resultan en precios por lo menos 30% superiores al promedio Latinoamericano y un 45% aproximadamente superiores al promedio mundial, según los autores. Las distorsiones e ineficiencias son asumidas por los consumidores finales, lo cual, -bajo la teoría neoclásica-, deprime el consumo de energía y por ello Colombia tiene en promedio 1540 KWh /hab., mientras que el promedio de América Latina es de 2500 KWh según expresan los autores; aquí diferimos un tanto pues la UPME y el Ministerio de Energía señalan que en Colombia un 40% de la energía podría ser ahorrado o usado más eficientemente. La meta no debe ser la de que los colombianos consuman más energía eléctrica, sino de que vivan mejor, tengan mejores empleos e ingresos gracias a mayor productividad y la sociedad se beneficie más de los avances tecnológicos y todo ello puede requerir más energía eléctrica o en otras formas, pero el consumo de energía no debe ser un fin en si mismo. Es obvio que requerimos aumentar la disponibilidad energética a medida que la sociedad y la economía lo requieran, pero debemos hacer un esfuerzo grande de aumento de eficiencia.

Insistimos en ello: el consumo energético no es una relación lineal con el desarrollo o el PIB per cápita per se, pues la eficiencia real es lograr hacer lo que se requiere con menos uso de energía. Sin embargo, es cierto que existe una franja de consumo en la cual la relación si es estrecha y posteriormente, en la medida en la cual la sociedad avanza, la relación no es tan directa y además se tiende al consumo suntuario. Es clásica la curva entre IDH, índice de desarrollo humano y el PIB per cápita de los países, en la cual existe una línea recta diagonal hasta aproximadamente los U$6000 per cápita después de lo cual se convierte en una curva cóncava demostrando que no es necesariamente cierto que después de un umbral de satisfacción de las necesidades básicas, un mayor consumo resulte en mayor calidad de vida en la misma proporción; en el caso de la energía sucede lo mismo y el mundo está logrando avances extraordinarios con menos energía per cápita excepto la IA y posiblemente los automotores eléctricos pero en el último caso la eficiencia energética de la electricidad en los

vehículos eléctricos supera ampliamente la de los vehículos a combustión interna y no contamina. Colombia tiene el reto establecido en las COP de cambio climático de lograr triplicar las energías renovables y duplicar la eficiencia energética. Nuestro país no tiene "estaciones" de verano, otoño, invierno y primavera, las cuales demandan mucha energía para enfriar con aires acondicionados y para calentar; por ello no debemos seguir ciegamente los patrones de consumo de otras latitudes. Claro está que los efectos del cambio climático, unidos ocasionalmente, aunque más frecuentemente con los fenómenos de variabilidad climática como el caso de el "super Niño" que está llegando nos irán obligando a usar más aire acondicionado en la región caribe y, de pronto, en ciudades como Medellín y Bucaramanga. Al respecto, es necesario resolver las dificultades de Air-e y en la región Caribe lo más pronto posible y viabilizar incluso líneas de crédito para la instalación de sistemas de energía solar en estratos diferentes al 1 y 2 que abarcan los programas de "comunidades energéticas" y "Colombia Solar", que siendo muy pertinentes tienen una cobertura reducida incluso dentro de los estratos objetivo; se requiere abrir rápidamente líneas de crédito como las de "Bonos verde", con intereses menores a los actuales. El Fondo Nacional del Ahorro puede ser una entidad muy idónea para esta tarea, en dimensiones mucho mayores a las que actualmente practica.

Hacia el futuro inmediato será cada vez más importante la combinación de las diferentes energías de acuerdo a la hora del día. La solar, por ejemplo, debe debutar de las 6 am hasta las 5 pm, asistida por otras, mientras que en la noche la hidroeléctrica y el viento, así como la geotermia y las baterías distribuidas juegan su papel; la señal interhoraria de precios de escasez será también muy importante para enviar mensajes acerca de cuando y cuanto consumir, gracias a los adelantos tecnológicos de instrumentos de seguimiento e información, que deben hacerse cada vez más accesibles y disponibles para los usuarios, de tal manera que programen sus actividades de acuerdo al costo en ese momento de la energía. La gráfica siguiente presenta la simulación de despacho horario promedio que hizo el equipo coordinado por Dyner que incorpora todas las energías, en la cual la mancha amarilla casi parece la forma de un corazón[7].



Uno de los temas más recurrentes en la discusión de energía y clima es el de las exigencias ambientales y las de las comunidades en lo referente a las consultas previas; lo cual según un grupo significativo de profesionales y empresarios energéticos se ha convertido en un "retén" para el flujo de las energías renovables; al respecto, además de reconocer que el Gobierno Petro se dedicó en los últimos meses a acelerar la autorización ambiental y social de los proyectos de energías renovables, considero que debemos dar un gran salto cualitativo, consistente en que el SINA con la ANLA y las CARs pasen de ser entidades "reactivas" que esperan a que los privados lleguen a solicitar una "licencia ambiental" para expedir los términos de referencia para empezar a tramitar las consultas comunitarias, a ser un sistema proactivo que delimita "áreas especiales para energías renovables" y establece reglas del juego concertadas con las comunidades, en las cuales incluso se plantea una participación accionaria de las originarias o ancestrales en los proyectos y se especifican unas reglas y criterios básicos de aceptación y acogida de los proyectos y las ofrece a los

privados o comunitarios o incluso va más allá: el Ministerio de Energía podría emitir un nuevo tipo de convocatoria , sui generis, pues sería de “Crowd Funding”, de llamado a cualquier ciudadano a adquirir acciones de proyectos en esas zonas especiales, con el atractivo de que cuentan con todos los permisos. La práctica de identificar “zonas francas energéticas” se está llevando a cabo en la Comisión Federal de Energía de México, liderada por la actual presidenta Sheinbaum; la otra modalidad, de “Crowd Funding” fue en su momento practicada por ECOPETROL, cuando ofreció acciones a cualquier ciudadano; en esta ocasión podrían sumarse recursos provenientes del público en general con otros como las regalías, en un mecanismo que le dé “dos vueltas a la misma platica”: cuando se capta el impuesto al carbono en cada galón de gasolina o diesel vendido, podría dirigirse a un Fondo para la Transición Energética, que prestaría los recursos obtenidos para clientes que quieran reemplazar actividades contaminantes que usan combustibles fósiles, por actividades que usan energías renovables o limpias; una vez que empieza a recolectarse la deuda, estos recursos se dirigirían al Fondo de la Vida y la Biodiversidad, de tal manera que se habría duplicado la utilidad de los mismos recursos. De esta manera, el SINA en conjunto con el sistema energético del país entraría a liderar las mejores localizaciones con las condiciones socioeconómicas y culturales más apropiadas, proyectos energéticos renovables bajo lógicas de multicriterio, pues para escoger las localizaciones se tendrían en cuenta factores como la generación distribuida en los puntos más estratégicos, para consolidar redes inteligentes, así como el mínimo impacto y riesgo social, cultural y ecológico/ambiental.

Debemos insistir en la revisión de la otra dimensión de la energía que son los combustibles fósiles; una de las críticas más fuertes en materia energética al gobierno actual es la de que el gas venía sustituyendo a otros combustibles fósiles como el petróleo y el carbón para la generación de electricidad pero la prohibición del Fracking (para extraer petróleo y gas) y de nueva exploración hace necesaria la importación del mismo, que tiene que ser convertido a líquido en su lugar de origen (posiblemente Texas) , transportado en buques especiales, regasificado e inyectado a la red nacional, todo lo cual además de resultar mas costoso que el gas nacional es “ambientalmente peor que el carbón, pudiendo ser de producción nacional, pero sobre todo usando renovables”[8]; si bien entendemos el punto, es necesario contextualizar esta afirmación. El fracking desde sus versiones iniciales generó riesgos de

contaminación fuerte tal como sucedió en Oklahoma hace más de 10 años, en donde salía por los lavamanos de agua potable gas metano-, y se produjeron microsismos locales por la presión requerida en la perforación; en teoría muchos de estos problemas han sido resueltos en la versión Fracking 4.0[9] , en la cual han reemplazado parcialmente el agua de inyección por CO_2, se han reemplazado los químicos de perforación por otros menos dañinos y se evita inyectar o hacer pozos de fracking a menos de 10 kilómetros de cualquier falla geológica. Sin embargo, hay varias consideraciones muy importantes acerca de los riesgos socioambientales del Fracking:

- En primer lugar, los pozos de fracking se caracterizan por una producción inicial muy alta que disminuye rápidamente, por lo cual se requiere perforar en el mismo sitio o plataforma "racimos" de pozos que fácilmente superan en 10 veces el número de pozos convencionales para garantizar un flujo relativamente constante durante un buen tiempo en cada locación; esto significa mucho mayor actividad, intervención y presencia humana en cada zona, así como costos mucho más altos.
- También significa obviamente mucho mayor cantidad de lodos de operación que contienen muchas sustancias sensibles ambientalmente y que deben disponerse en relativa cercanía de los pozos, y normalmente se reinyectan con gran presión también, causando similares inconvenientes y peligros tales como la contaminación de acuíferos, además por que los lodos pueden contener sustancias radioactivas naturales y otros metales y minerales.
- En las actuales circunstancias de "Baby, Drill, Baby "de la actual administración Trump, que ha disminuido tanto presupuestalmente como en su autoridad a la EPA; Agencia de protección ambiental, que terminó prácticamente el Servicio Forestal y ha reducido drásticamente la capacidad investigativa institucional en lo atinente a salud y ambiente, no se puede afirmar que el seguimiento y fiscalización ambiental sean suficientemente fuertes para hacer su trabajo en la profundidad que se requiere.
- El Fracking funciona aparentemente bien en la geología de Estados Unidos y de Argentina, del terciario, muy "asentada y vieja", y el país es mucho más plano y sin tanta complejidad orográfica y del relieve como el caso colombiano que es más activa en el cuaternario con la emergencia de la cordillera Andina[10], con la consiguiente generación de muchas fallas y riesgo sísmico. La geología argentina tampoco es similar a la de Colombia, con pocas

similitudes en la zona montañosa.

- Además, para Colombia, por su localización mayormente asociada entre los trópicos de Cancer y Capricornio existen otras alternativas muy atractivas de producción de Biometano o biogas, como el cultivo de pastos gigantes (pasto elefante), y su biodigestión con o sin residuos agrícolas o de plaza de mercado o de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas[11]. Adicionalmente, la experiencia de Biocombustibles indica que podríamos adicionar la mezcla de estos al diesel y la gasolina al doble de la actual, lo cual generaría ingresos y actividad económica rural importante pues activaría la siembra de 180 mil hectáreas de palma de aceite y en asociaciones público-privadas-populares en las cuales los campesinos tengan mayor oportunidad de ingreso y participación accionaria. Ecopetrol debe profundizar y acelerar estas acciones imitando y colaborando con Brasil.
- Finalmente, la más obvia, existe gran potencial tanto de generación de energía solar, como de energía eólica a costos más bajos que los proyectos a partir de combustibles fósiles, como ya se está demostrando en proyectos de turbinas a gas que resultan bastante mas costosos que sus equivalentes en generación eólica o solar incluidas las baterías de almacenamiento.
- Es importante resaltar el riesgo de fracaso en las perforaciones de fracking frente a la certeza alta de la generación solar y eólica y el biogas. Cada perforación de fracking es una apuesta entre 8 a 13 millones de dólares en los Estados Unidos, según expertos.[12]
- Mas importante aún en esta coyuntura del fenómeno de El Niño superfuerte, la energía solar + baterías ofrecen soluciones inmediatas para atender IN SITU necesidades puntuales de las empresas, hospitales, instituciones, residencias para lo cual se debe desplegar todas las actividades que las concreten.

  Las líneas de trasmisión, al igual que los parques de generación de energías renovables, han experimentado “demoras” en la expedición de licencias ambientales y consultas previas[13],[14]; el caso de la Guajira explicíta la necesidad de una aproximación diferente, que delimite en los diferentes territorios las ya mencionadas “zonas o áreas especiales de energías renovables” y las aliste con las comunidades propias para la llegada de inversiones nacionales o internacionales. De esta manera la actuación estatal no sería casuística ni reactiva sino sistemática y proactiva en los territorios, preparándolos para la llegada de proyectos específicos.

La región caribe tiene la gran oportunidad de ser la gran generadora de energía eléctrica del país en reemplazo o sustitución del carbón térmico del Cerrejón y de algunas zonas de petróleo y gas en Sucre, Córdoba, Atlántico, Magdalena. Debemos identificar y corroborar dichas áreas y otras a lo largo del Río Magdalena y las que señalan los mapas del IDEAM y otras entidades internacionales como idóneas para energía solar y eólica y alistarlas en todos los aspectos, para que las empresas que quieran llegar encuentren muy fácil cumplir con los requisitos rigurosos pero claros y ágiles tanto ambientales como sociales, dentro de lo cual sugerimos por lo menos tres condiciones de la transición energética justa e incluyente:

- Oportunidad para los habitantes de asignarles un porcentaje discreto de acciones de propiedad de los proyectos, bajo la condición de su organización comunitaria y la dedicación de los recursos para el mejoramiento de la calidad y dignidad de la vida. De esta manera se reconoce la tradición de su existencia y permanencia en estas regiones.
- Conjunción o Sinergia de factores logísticos y localizacionales, referentes a la proximidad de líneas de trasmisión y comunicación terrestre fácil, especialmente bajo la lógica de refuerzo de las redes inteligentes con generación distribuida, reforzando las existentes, obviamente supeditados a no conflictividad con otros factores fundamentales como son los ecosistemas y la cultura.
- Posibilidades de beneficio regional y territorial al disponer de parte de la energía que cruza el territorio, para adelantar proyectos y programas que beneficien a la zona de influencia.
- Posibilidad de cualquier ciudadano de adquirir acciones de los proyectos, con modalidades de pago por cuotas, para democratizar la propiedad de los proyectos[15]

Debemos incorporar las redes inteligentes y la generación distribuida como nuevos factores de diseño, puesto que podríamos poblar nuestras redes existentes con refuerzos a lo largo de su extensión gracias a la innovación reciente tanto en energías solar y eólica como de baterías de almacenamiento; una versión alternativa o complementaria es la de instalación de sub redes de estas unidades solar/eólica + almacenamiento, tanto en las redes como dentro de instalaciones de fábricas o urbanizaciones, que incluso podrían convertirse en “PROSUMIDORAS” que compran y venden a la red eléctrica. Ante el fenómeno de El Niño que se avecina, el gobierno debe actuar incentivando esta medida preventiva de apagones e interrupciones de flujo eléctrico.

Los autores del libro “Transición Necesaria” sostienen que Colombia “es un país con una clara pobreza energética que además es muy inequitativa pues un hogar de bajos ingresos dedica hasta el 16,5% de sus ingresos al pago de energía mientras que el decil superior sólo el 1,3%”; sin embargo esa es solo una dimensión de dicha pobreza, porque los más pobres tienen que soportar dos inconvenientes graves más: 1) la interrupción muy frecuente del flujo eléctrico por estar situados en la “cola de las redes” ; 2) la mala calidad del fluido eléctrico, que les daña con mucha frecuencia por los picos y bajadas, los equipos de sonido, de televisión, radio, ventiladores e incluso posibles aires acondicionados, en clima caliente, mientras que en clima frío los posibles calentadores o cocinas, por la ubicación al extremo de las líneas y por el servicio deficiente.[16] Sin embargo, y aunque subsidiada, deben pagar la cuenta mensual como si hubiera contando con energía todo el tiempo; también hay que reconocer la informalidad y las conexiones fraudulentas, que no son exclusivas de los estratos menos afortunados, sino también se presentan en estratos más altos como el caso del departamento del Magdalena en la zona bananera. Es muy interesante y apropiada la gestión de comunidades energéticas y Colombia Solar que adelanta el gobierno Petro con 500 mil familias de los estratos 1 y 2 al instalar energía solar que permita disminuir sustantivamente los subsidios actuales, que tienen la debilidad de incitar a mayor consumo y generan una deuda significativa del Estado con las empresas de servicios públicos de electricidad. Igualmente la introducción de tarifas interhorarias serviría mucho para enviar señales de escasez real que desplacen el consumo o lo reduzcan en las “horas pico”. En nuestra opinión esta política y estrategia debe continuarse tanto porque alivia mucho a los sectores sociales más pobres, como porque permite ir desmontando los subsidios a los servicios públicos y reforzar las medidas de ahorro, uso eficiente y transición hacia energías renovables: para el resto de estratos, es necesario ampliar los estímulos de tal manera que más cantidad de gente y empresas decidan tener energías renovables y programas de ahorro y uso eficiente de energías,

En Colombia, nuestra geografía de cordilleras que separan la planicie orinocense y amazónica del Chocó Biogeográfico y el Caribe requiere una planeación estratégica de la generación distribuida y de las redes inteligentes, que permita además contar con gran número de “prosumidores”, autogeneradores que venden excedentes transformando la

relación unidireccional en una relación bidireccional y por tanto transformando el mercado eléctrico convencional; Jeremy Rifkin, gran pensador y futurólogo Estadounidense, sostiene que por primera vez un avance tecnológico, el de las energías renovables solar y de viento, abre la posibilidad de un cambio en la correlación de fuerzas de la sociedad, al disminuir el poder de las grandes compañías de electricidad y también eventualmente de las multinacionales petroleras al abrir la posibilidad de "tanquear" de electricidad los vehículos privados en cada vivienda, en cada entidad o fábrica o conjunto residencial o parque industrial gracias a la instalación de electrolineras abastecidas de energía solar "in situ". El sector público, policía, ejército y flotas de servicios públicos son clientes potenciales de primera línea al respectos.

Estamos ante un proceso muy interesante de modificación de la fortaleza económica y política de aparatos sectoriales de gran influencia. Por ello, el reto no es sólo tecnológico y de oferta; necesitamos entrar ciertamente en las energías renovables al mismo tiempo que en el ahorro y uso eficiente de energías, pues no sólo la eléctrica entra en la ecuación; el mundo se está moviendo a velocidades impresionantes en ese sentido. Pero más importante aún aprovechar ese impulso, esa inercia fuerte, para avanzar radicalmente en la equidad, la inclusión, la oportunidad social, con organizaciones diferentes a las convencionales. Los Ciudadanos accionistas de las empresas de servicios públicos puede ser una de las alternativas posibles o mejor aún, propietarios colectivamente de dichas empresas.

El problema que están viviendo Hungría y Bulgaria de apagar las centrales nucleares de Paks que genera el 50% de la electricidad de Hungría y el 25% de la Bulgaria, por que los niveles y caudales del río Danubio han descendido tanto que ni las bocatomas alcanzan el agua y porque las temperaturas permitidas del río se pueden exceder, indican la mayor urgencia de soluciones de menor riesgo e impacto. Toda energía tiene sus efectos, costos y riesgos, pero se trata de escoger la de menor significación negativa y la solar y eólica aparecen como la alternativa posible en el corto y mediano plazo.

Este planteamiento no se limita a un ajuste sectorial, sino que configura una transición multidimensional que involucra cambios en la matriz energética, en la estructura productiva,

en la relación entre el Estado y los territorios, y en la forma como se concibe el desarrollo. En particular, en el sector minero-energético, es necesario, como lo plantea el experto Alvaro Pardo[17], un viraje profundo: abandonar progresivamente la dependencia del petróleo el carbón y el gas[18], avanzar más rápidamente hacia una matriz basada en energías renovables (solar, eólica e hídrica) como la propuesta por Dyner y su equipo, ordenar el territorio alrededor del agua, fortalecer el transporte multimodal y preservar y regenerar ecosistemas estratégicos del país como las ciénagas y crestas de las montañas andinas y los bosques del Chocó Biogeográfico, con tres grandes ejes fundamentales: las mujeres y ciudadanos como motor de transformación social; la transformación de una economía extractivista hacia una economía productiva y el liderazgo de Colombia en la lucha contra el cambio climático, con ejemplos propios de lo que se debe hacer. .

Reiteramos lo que hemos expresado en otros artículos en esta misma revista SUR, que ante una alta dependencia del modelo extractivo, que continúa sustentándose de manera significativa en los ingresos provenientes de la explotación de hidrocarburos y minerales, tanto en términos fiscales como en generación de divisas y financiamiento del gasto público, que "no es simplemente económica, sino estructural (atraviesa la balanza de pagos, la estabilidad macroeconómica y las finanzas territoriales)", requerimos abordar con más decisión una estrategia sólida de sustitución productiva, con base en nuestras propias riquezas, que son la biodiversidad y la ubicación y riqueza geográfica de nuestros territorios; el sector energético y minero tienen debilidad institucional significativa, "expresada en la fragmentación, desarticulación y, en algunos casos, pérdida de enfoque estratégico de las entidades encargadas de liderar la política minero-energética. La Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), enfrenta dificultades asociadas a la sobrecarga de funciones administrativas, la falta de integración entre los subsectores de energía, hidrocarburos y minería, y una limitada capacidad de articulación interinstitucional". En los territorios, los impactos del modelo extractivista son particularmente evidentes en regiones como Cesar y La Guajira, por la explotación de carbón a gran escala y la necesidad de asumir ya una transición inminente hacia un escenario post-carbón, sin que exista aún una estrategia suficientemente consolidada de reconversión productiva y diversificación económica. Dentro de ello podría considerarse la gasificación del Carbón, para lo cual ya existen tecnologías

“limpias”. La debilidad del sistema de regalías, que, aunque “constituye uno de los principales mecanismos de redistribución de la renta extractiva, presenta problemas estructurales que limitan su impacto en el desarrollo debe corregirse pues las prácticas de corrupción, baja eficiencia en la ejecución de los recursos, dispersión en múltiples proyectos de bajo impacto y la dificultad para ejercer control y seguimiento efectivo han reducido la capacidad de este sistema para transformar las condiciones de vida en los territorios productores” según Pardo.

La Transición Energética Justa e Incluyente (TEJI), que permite que Colombia pase de tener una política energética centrada en la expansión de hidrocarburos a una narrativa que prioriza las energías renovables, la reducción de emisiones y la democratización del acceso a la energía debe continuar y profundizarse abarcando más sectores beneficiados, aprovechando el avance tecnológico impresionante reciente. La formulación de la Hoja de Ruta de la TEJ, el fortalecimiento del Plan Energético Nacional y la construcción de escenarios prospectivos reflejan un esfuerzo serio de planificación, que requiere ajustes de frente a los últimos desarrollos tanto tecnológicos como geopolíticos mundiales. La transición energética debe consolidarse como una política de Estado con blindaje institucional, para que no esté expuesta a cambios políticos futuros; ante la realidad de que la ejecución de los proyectos ha sido más lenta de lo esperado, afectada por conflictos territoriales, dificultades en licenciamiento ambiental, falta de infraestructura de transmisión y problemas de coordinación entre entidades[19]. La ausencia de financiamiento de fondo para la transición tanto por las dificultades presupuestales actuales como por la falta de articulación entre los distintos actores del sector y las tensiones con el sector privado han limitado la capacidad del Gobierno para traducir la planificación en resultados tangibles a gran escala y por ello, el principal reto del próximo gobierno será evitar la reversión o fragmentación de la Transición Energética Justa e Incluyente (TEJI) al nivel de política de Estado, creando rápida y eficazmente los mecanismos jurídicos, institucionales y financieros que la hagan irreversible. Se requiere una Ley Marco de Transición Energética, con metas obligatorias de conversión a energías renovables y descarbonización a 2030, 2040 y 2050, con indicadores verificables y compromisos vinculantes para todos los sectores productivos, que modifique, precise y avance las leyes existentes al respecto; para garantizar estabilidad frente a cambios de

gobierno y garantizar continuidad. También se requiere reorganizar la arquitectura institucional, fortaleciendo la UPME para concentrar en el ministerio la dirección estratégica del proceso, mientras que la ejecución se delega en agencias especializadas. Dentro de ello debe fortalecerse la capacidad de visión en el campo minero y energético con la modelación de escenarios energéticos y mineros, análisis geopolítico del sector, evaluación de riesgos de desabastecimiento, planeación integrada de energía, minas e hidrocarburos, mientras que las gestiones de subastas y otras dinámicas se dejan a cargo de las agencias.

Es urgente, imitando experiencias como la Noruega, estructurar un Fondo Soberano de Transición Energética, financiado con los recursos de los Fondos de Pensiones, garantizándoles la misma rentabilidad y seguridad de la inversión que en otros países, con regalías, recursos de cooperación internacional climática, bonos verdes y rentas extraordinarias del sector extractivo y que use mecanismos innovadores como el “doble uso” del impuesto al carbono, que debería duplicarse en su magnitud, regalías, en el cual en la primera instancia se presta a todo ciudadano que quiera convertirse a energías renovables y movilidad eléctrica con tasas “blandas” y la recuperación de cartera . para la restauración y regeneración de ecosistemas críticos para la biodiversidad, el clima y la vida. Debemos apostar todo a la conversión energética renovable porque nos hace más productivos, eficientes, competitivos, resilientes, mejores en salud humana y de los ecosistemas y además mas juntos e incluyentes, más aún si les damos a todos los ciudadanos , empezando por los más pobres, la oportunidad de pagar menos, tener más ingresos como accionistas energéticos y participar más activa y solidariamente en el progreso del país, con su ahorro, uso eficiente de energías renovables especialmente.

Reiteramos que Colombia, el país con mayor concentración de la biodiversidad y la vida por kilómetro cuadrado, con suficientes recursos de sol y viento, de geotermia y biomasa, como lo señala el afortunado libro “La Transición Necesaria”, puede ser un ejemplo mundial de conversión acelerada de energías fósiles a energías renovables porque además son ya económica, social y ambientalmente mejores. El Gobierno entrante debe tener esta prioridad absolutamente clara en esta coyuntura de variabilidad climática fuerte de El Niño y escasez de gas, para dar un salto cuantitativo y cualitativo radical en el tema, que nos cobije y motive

a todos los Colombianos en el camino construir solidariamente un país mejor.

_____

[1] Informe SGC junio 2026, sobre la geología del Magdalena medio.

[2] “En Ohio, toxic Wastewater is bubbing up out of the ground” The New York Times, july 31 2026.

[3] Estas aguas contienen metales pesados, materiales radioactivos, aditivos químicos dañinos, y benceno que está comprobado como agente causante de cáncer. Se descargan e inyectan alrededor de 840 galones diarios de este líquido altamente riesgoso. Aparentemente no se han encontrado recientemente estos componentes.

[4] Elementos potencialmente peligrosos en las rocas cretácicas generadoras (yacimientos no convencionales) de hidrocarburos en el valle medio del Magdalena. Informe Servicio Colombiano de Geología, junio 2026

[5] Se estima que 28, 32 m3 de gas natural son un millón de

[6] NOTA IMPORTANTE: la tabla 4.2. de los autores presenta un error en las unidades usadas: debe ser GWh-Día pues es sobre energía generada y no sobre potencia instalada que es en MW.

[7] Grata conversación con el autor principal.

[8] Opinión de Carlos Enrique Moreno, Expresidente Grupo Corona, ExConsejero Presidencia de la República.

[9] Consultas a la red con Inteligencia Artificial.

[10] Aunque el proceso de formación de la cordillera Andina se puede rastrear a 200 millones

de años.

[11] Hemos hecho ejercicios exploratorios teóricos, basados en literatura técnica internacional, especialmente europea, que revelan una muy buena potencialidad con pastos gigantes, que contienen tres veces más energía que el Miscanthus usado allá, como también el maíz y residuos agropecuarios.

[12] Conversación con el ingeniero de petróleos Juan Carlos Gama, consultor nacional e internacional.

[13] Es común oír esa narrativa entre los gremios productores o contratistas, que tiene un buen porcentaje de realidad pero que minimiza o ignora la necesidad que los promotores de proyectos de energías renovables adelanten de manera coordinada todas las dimensiones de los proyectos y desde el comienzo trabajen la dimensión social y ambiental con los actores del territorio.

[14] El caso más critico ha sido el de la línea Colectora en la Guajira Colombiana que ha requerido cientos de reuniones con las comunidades puesto que las autoridades tradicionales, que son elaboraciones masculinas, no son lo mismo que las autoridades ancestrales que nacen de línea materna y que los indígenas Wayuu reconocen como las auténticas. Tanto las empresas como el gobierno ignoraron esta particularidad hasta que les aclararon cuales son las verdaderas autoridades.

[15] En Colombia existía la costumbre de regalar a los recién nacidos acciones de diferentes compañías; hace algunos años Ecopetrol ofreció en dos oportunidades por lo menos, la adquisición de sus acciones con muy buena acogida en todos los estratos.

[16] Esta situación no es exclusiva de los barrios o asentamientos más pobres; la SIU; sede de investigación Universitaria de la Universidad de Antioquia, hace algunos años experimentaba problemas de inestabilidad de la electricidad provista por EPM que dañaba equipos muy costosos, por lo cual fue necesaria una inversión fuerte; igualmente el nivel de contaminación del centro de la ciudad, cerca del campus universitario, es muy alto,

afectando también los equipos sofisticados de investigación.

[17] Consultas informales. Expresidente de la Agencia Nacional Minera y experto de muchos años en derecho minero.

[18] Si bien el gas metano y el biogas son de menor impacto ambiental que el carbón y el petróleo, es necesario tener presente que los escapes de gas metano son frecuentes y que una molécula de este gas tiene un impacto como gas de efecto invernadero, de 80 veces más que una molécula de CO2 en el corto plazo (20 años) y de 28 veces en un horizonte de 100 años. NO hemos puesto suficiente atención a todas las fuentes de gas metano, como son plantas de tratamiento de aguas residuales, rellenos sanitarios , disposición irregular de residuos sólidos y otras fuentes más complejas como las resultantes del mismo cambio climático, como el deshielo del ártico, etc.

[19] Alvaro Pardo, experto en el tema precisa estos aspectos.

Carlos Fonseca Zárate

Foto tomada de: Ecopetrol