

Marco estratégico  
para la transición energética  
en la Argentina

CENTRO ARGENTINO DE INGENIEROS  
ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA

Marzo 2023

# Marco estratégico para la transición energética en la Argentina

El documento que aquí se presenta es un resumen ejecutivo de un trabajo más amplio realizado entre ANI y el CAI. El propósito ha sido detectar las fortalezas y oportunidades que se le presentan a la Argentina tanto a nivel local como mundial en función del potencial de sus recursos. No se ha pretendido tener las respuestas a las inquietudes que se presentan ante un tema tan desafiante, sino ayudar a realizar las preguntas apropiadas.

En los últimos siglos distintas naciones o grupos de naciones han enfrentado desafíos que afectaban a amplios segmentos de la población: epidemias, plagas, hambrunas, o guerras. Pero por primera vez en nuestro tiempo la humanidad en su conjunto enfrenta una situación grave, difícilmente controlable y de alcance universal: el desafío ambiental cuya manifestación más notoria es el calentamiento global.

Los antecedentes muestran que el problema deriva de acciones del hombre, por ello denominadas antropogénicas, con impacto sobre la naturaleza y el medio ambiente. Ponen en riesgo el nivel de vida conseguido por la humanidad a partir de la revolución industrial.

Desde hace 20 años científicos y políticos debaten con qué tecnologías retrotraer estos efectos y las responsabilidades atribuibles a cada Nación o a cada tipo de industria por el uso de los recursos energéticos disponibles, en especial los fósiles. Se han conseguido, por primera vez en la historia, acuerdos en cuya concreción se han involucrado prácticamente todas las naciones, aunque aún subsisten diferencias con respecto a cómo definir y asumir las responsabilidades y establecer en que proporción pagará cada país los costos de la transición tecnológica necesaria.

Confrontando las acciones llevadas adelante por distintas naciones, se puede percibir que el consenso logrado es en parte ambiguo y que por ello muchos gobiernos se demorarán en cumplir sus compromisos por considerar que la responsabilidad que se les ha asignado no tiene fundamentos equitativos. Esta diferencia existe en especial entre las naciones que han conseguido su desarrollo industrial pleno desde hace aproximadamente un siglo, vs. las que recién ahora están comenzando a mejorar el estándar de vida de su población.

Éstas últimas han acumulado un volumen de emisiones inferior al de las desarrolladas.

Se considera también que, más allá del debate sobre el pedido de las naciones más atrasadas, de asignar en esta transición responsabilidades económicas proporcionales a las emisiones acumuladas históricamente, cada país debe elaborar su propia estrategia de transición. Deberán tener en cuenta en primer lugar, las ventajas comparativas de las que disponen, para diseñar a partir de ellas el camino y las etapas de su propia transición. En el caso argentino, nuestra visión de una estrategia con ventajas comparativas se basa en la gran disponibilidad de gas natural hasta mucho más allá de los escenarios y plazos a los que sería posible planificar. Por otro lado, la posibilidad de hacer un uso inteligente de nuestros recursos biológicos naturales, utilizando los mismos a través de “Sistemas Basados en la Naturaleza”, permitiría cumplir con una parte importante de los compromisos de reducción de emisiones asumidos en distintas rondas de negociaciones internacionales.

El marco estratégico aquí propuesto es dar prioridad a los mecanismos biológicos de la naturaleza para capturar emisiones y enfrentar así el desafío del cambio climático. Se considera, sin embargo, que hay un exceso de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas principalmente al uso de combustibles fósiles, por encima de la capacidad de captura de la naturaleza.

Muchos países han priorizado sus inversiones e innovaciones para cambiar sus actuales tecnologías de producción de energía eléctrica por otras sin emisiones. En general adoptaron la decisión de electrificar progresivamente el transporte, la producción de calor y los procesos industriales. Se tiende también a reducir la infraestructura de extracción, transporte y refinado de combustibles fósiles, a pesar de que son actividades con un elevado stock de capital acumulado y aún no amortizado.

Las principales líneas estratégicas analizadas y propuestas para instrumentarse en forma conjunta o separada, para Argentina, son además complementarias y buscan cumplir con las ‘Contribuciones Nacionales Definidas’(CND) que cada Nación puede establecer libremente. La Argentina también evolucionará hacia energías limpias y procesos industriales descarbonizados. Sus ventajas comparativas le permitirán hacerlo a un ritmo que no pondrá en riesgo su desarrollo y permitirá financiar la transición a un costo aceptable. Con las nuevas tecnologías a implementar será factible que la economía pueda crecer sosteniblemente y desarrollar áreas de negocios.

La ciencia ha hallado fundamentos para afirmar que el aumento global de la temperatura del planeta necesita limitarse a no más de 1,5°C por encima de los niveles preindustriales. Esta meta requiere que se alcance el cero neto de emisiones antropogénicas hacia el año 2050 (NetZero2050). La información disponible indica que la mejor alternativa para lograr ese objetivo en el caso argentino, es la basada en la naturaleza como factor de absorción, combinada con la producción de gas natural. Las emisiones serían capturadas por la extensa geografía, la vegetación y los suelos de nuestro país. Se sumaría la incorporación de una combinación de otras tecnologías ya probadas para la producción de Energía Eléctrica: renovables NC (solar y eólica), nuclear, hidroeléctrica, etcétera. Deberán estar coordinadas de manera tal que luego del previsible proceso de electrificación de casi todas las formas de obtener calor y trabajo mecánico, el costo total de la unidad de energía se mantenga en la Argentina competitivo con los promedios internacionales.

Nuestro país está en una posición inmejorable en caso de optar por utilizar el gas natural, el más limpio de los fósiles con amplia disponibilidad, incluso para exportación. Sus reducidos costos contrastan con los eventos mundiales que han elevado su precio.

Hay un excedente de millones de hectáreas aún disponibles para nuevos cultivos y forestación con tecnologías ya probadas. Combinado el gas con las “soluciones basadas en la naturaleza” nuestro país podría cumplir sus compromisos y convertir este desafío en una oportunidad de desarrollo única.

En el inicio de la configuración del globo terrestre, el material que lo componía era totalmente inorgánico. No había vida vegetal, animal, ni humana tal como la conocemos ahora. La atmósfera del planeta estaba compuesta por nitrógeno, metano, vapor de agua y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)—.

Luego, la superficie terrestre comenzó a enfriarse hasta temperaturas que permitieron el desarrollo de seres vivos mediante un proceso físico químico basado en la fotosíntesis. La acción de la energía de los rayos del sol, en forma conjunta con moléculas de CO<sub>2</sub> y de agua presentes en la atmósfera, las convirtieron en cadenas de carbono e hidrógeno. Éstas, a su vez, formaron vegetales, primera manifestación de la existencia de seres vivos con un ciclo temporal de nacimiento, desarrollo y fin. Durante millones de años ese proceso continuó poblando de materia biológica la superficie terrestre que hasta ese momento estaba compuesta solo de sales inorgánicas a elevada temperatura. Al final del ciclo de vida de cada especie, los residuos orgánicos emitían al descomponerse gases de efecto invernadero (GEI) y en especial CO<sub>2</sub>, que la naturaleza utilizaba para la reproducción de nuevos vegetales. Así se fueron cubriendo las superficies de la tierra aún desérticas. Esos gases se

volvían a reciclar al finalizar la vida de las plantas en un ambiente con exceso de CO<sub>2</sub>, incrementando la cantidad de vegetales y la de los animales que se alimentaban de ellos. Este proceso continuó avanzando, pero siempre existía un leve desequilibrio por el cual, –además del reciclado–, se absorbía parte del CO<sub>2</sub> preexistente en la atmósfera desde el surgimiento del planeta Tierra. La multiplicación de las especies vegetales impulsaba una mayor emisión de CO<sub>2</sub> al fin del ciclo de vida de cada ser vivo.

Hace más de 200 años, comenzó la denominada “revolución industrial” período en el cual los hombres necesitaron cada vez más energía para producir calor y trabajo mecánico. Con el descubrimiento de los combustibles fósiles, hubo una explosión de su uso energético provocando emisiones crecientes de los denominados GEI, por su efecto en el calentamiento de la atmósfera. Los excedentes no capturados motivaron un aumento de 280 a 400 ppm de CO<sub>2</sub> en sólo 150 años. De una población estable de 1.000 millones de habitantes la humanidad pasó a más de 8.000 millones en apenas 200 años y al expandirse además el nivel de confort y el uso de nuevos aparatos mecánicos y eléctricos alimentados directa o indirectamente por la combustión de fósiles, surgieron excedentes de CO<sub>2</sub>. Finalmente ya no pudieron ser íntegramente capturados por la fotosíntesis y comenzaron a acumularse en la atmósfera.

En la Tabla I, se aprecia la magnitud anual que han alcanzado tanto la emisión como la captura de gases de efecto invernadero a partir del sistema inicial basado en la naturaleza. Pero también puede apreciarse, que existe un pequeño desequilibrio en sentido inverso al anterior y que ese pequeño pero creciente desequilibrio, acumulado durante tan solo 150 años, ha conducido a un preocupante stock actual de CO<sub>2</sub> acumulado en la atmósfera. (860 Gt).

Las emisiones antropogénicas son sólo el 5% del total emitido cada año, pero los mecanismos basados en la naturaleza aún tienen capacidad residual para la captura y secuestro de parte de carbono emitido. Sólo el 2,6% del total de emisiones por fenómenos naturales y por la acción del hombre, es el excedente neto que se emite a la atmósfera cada año. (21 Gt).

Los aspectos conceptuales desarrollados hasta ahora fundamentan las propuestas incluidas en este texto. En la ya referida Tabla I presentamos de manera simple, tanto el ciclo de la vida en la Tierra como el desequilibrio que actualmente conduce a la acumulación de gases de efecto invernadero. De ahí la decisión de reducir las emisiones antropogénicas.

Algunos estudios solo mencionan el rol negativo de las emisiones de GEI. No aclaran que las mismas existen desde el origen de la tierra en sucesivas

reconversiones continuas del “Ciclo de Vida” iniciado en base al CO<sub>2</sub> existente en la atmósfera antes de la aparición de la vida. Deben saber que este ciclo de vida con sucesivas capturas y luego emisiones de CO<sub>2</sub> es el propio de cada especie y que la cantidad neta que ha agregado el hombre cada año a partir de la revolución industrial, ha alcanzado sólo recientemente el 2,6% del total.

Tabla I - BALANCE ANUAL DE EMISIONES Y SECUESTRO DE CO<sub>2</sub> (2020)

CONCEPTO	EMISIONES [Gtn de CO <sub>2</sub> ]	SECUESTROS [Gtn de CO <sub>2</sub> ]
Emisiones asociadas al ciclo de vida de la naturaleza	771	
Emisiones antropogénicas de combustibles fósiles	35	
Emisiones por el uso antropogénico incorrecto del suelo	6	
Absorción natural por los océanos (hasta profundidad de 200 m)		337
Absorción natural por el suelo, las plantas, pasturas y forestación		454
<b>TOTALES</b>	<b>812</b>	<b>791</b>
Total Neto fugado a la atmosfera anualmente		21
STOCK ACTUAL CO <sub>2</sub> ACUMULADO EN LA ATMÓSFERA: (Origen del “Efecto Invernadero” y consecuentemente del “Cambio Climático”)		860

Es asimismo necesario considerar la importancia de los avances en la eficiencia energética. Después de las “Soluciones Basadas en la Naturaleza”, los desarrollos de eficiencia energética son los que han mostrado más productividad del capital invertido para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. La eficiencia energética no solamente es una herramienta para reducir emisiones, sino que permite extender en el tiempo y con menor costo, la transición hacia las nuevas tecnologías de generación.

Por último y como aspecto central para hacer posible la transición, se requerirá la evolución hacia alternativas más limpias en la movilidad, en las viviendas y en la industria. Estas inversiones no tendrán una magnitud que impacte la macroeconomía. Hay para ellas distintas formas factibles de financiación a largo plazo en mercados internacionales.

# Propuestas para la transición energética en la Argentina.

## 1. Captura de carbono por medio de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN).

Argentina está entre las ocho naciones del mundo con mayor superficie geográfica. Tiene además muy buena calidad de suelo en gran parte del territorio, por lo que es comparable con otros países de mayor tamaño en cuanto a potencial de secuestro de carbono. Estas son las condiciones requeridas para dar factibilidad al abastecimiento local y exportación de gas con y sin emisiones de GEI en su uso final.

La explotación agrícola ocupa alrededor de 33,7 millones de hectáreas. La ganadería duplica esa superficie, pero existen además otras tierras aptas disponibles para expandir la frontera agrícola y consiguientemente la producción agropecuaria, o la forestación. También para Captura y Secuestro de Carbono (CCS - Carbon Capture and Sequestration), en tanto se asegure que las metodologías aplicadas de rotación de pasturas, uso de fertilizantes y especies agrícolas seleccionadas, han sido diseñadas o modificadas para contribuir a la absorción neta de GEI. Así tendrá valor comercial en los mercados de carbono. Por otra parte, existe una superficie del orden de 100 millones de hectáreas que, en la Patagonia y también en zonas ubicadas más al norte, han sido degradadas por distintas causas (la ganadería ovina intensiva entre ellas), pero que podrían ser recuperadas.

En la COP 24 en Polonia y 3 años después en Glasgow, este tema fue uno de los centrales. Allí concluyeron que parte de la solución al problema ambiental podría ser lograda a través de las “Soluciones Basadas en la Naturaleza”. Muchas tierras incrementarían su valor y volverían a ser nuevamente productivas para poder contribuir, primero desde el sector de los combustibles sin emisiones de GEI, y segundo desde el incremento y la productividad del sector agrícola ganadero, a la mejora de nuestra balanza comercial.

Nuestras estimaciones indican que la Argentina tiene un potencial de emisión de bonos de carbono por año (1 bono de carbono es igual a una Tonelada de CO<sub>2</sub> Eq) de 131.400.000 bonos. Esta cantidad permitiría la exportación de hasta 162 mill de m<sup>3</sup>/d de gas natural con compensación de emisiones en origen.

## **2. Uso local y exportación de Gas con compensación en origen de las emisiones de CH<sub>4</sub> en su uso final.**

Esta propuesta está destinada al cumplimiento del Acuerdo de París a partir de la óptima utilización de los recursos y las ventajas comparativas de la Argentina. Nuestro país es el tercer país del mundo en recursos de shale gas. Al desarrollo experimentado en la formación Vaca Muerta de la Cuenca Neuquina con recursos de gas (307 TCF) equivalentes a 180 años de los valores de producción del año 2022, se le suman los avances exploratorios en la formación Palermo Aike en la Cuenca Austral. Esta cuenca posee recursos de shale gas (129,5 Tcf) equivalentes a un 42% de los de Vaca Muerta.

El primer objetivo de esta estrategia es la sustitución de los combustibles sólidos y líquidos usados actualmente, por gas natural. Los sectores relevantes para esta sustitución son la movilidad, la generación de energía eléctrica y la producción de calor industrial. Para ello hay que alcanzar un nivel de producción doméstica de gas natural en una escala que permita explotar en forma competitiva los recursos de gas argentino. Se debe lograr que la Argentina sea exportador neto de gas con incidencia en el mercado internacional, principalmente en contra estación. La conveniencia económica de mantener el uso local y exportación resultar de lograr un elevado factor de uso a lo largo del año. Es posible la exportación de gas por ducto a países de la región y de gas natural licuado (GNL) con mayor valor comercial por entregarse, –siempre a pedido del comprador–, habiendo compensado en origen mediante SBN, el mismo volumen de emisiones de CO<sub>2</sub> que se producirán en su uso final.

El gas natural también jugará indirectamente, al permitir la producción de energía eléctrica con equipos eficientes, un rol importante en facilitar la transición hacia la difusión masiva de la movilidad eléctrica con inversiones de menor significación.

## **3. Plan de eficiencia energética.**

Es posible planificar y lograr mejoras de eficiencia energética para cada sector económico o cada tramo de cada cadena de valor. Esta tarea convoca ayuda técnica y financiamiento de reducido costo y a largo plazo. La Argentina lo hizo hace 12 años con el Banco Mundial a través de un crédito a fondo perdido. El préstamo cubrió el 90% de la consultoría y las mejoras de eficiencia, al 9%



anual en pesos. La experiencia indica que los períodos de recuperación de las inversiones recomendadas a PyMEs no superaron los 3 años en la mayoría de los proyectos.

#### **4. Expansión de las energías renovables.**

El país cuenta con recursos potenciales, aptos para producir cantidades importantes de energía solar, eólica e hidroeléctrica. Lo destacable de esos recursos, en especial los dos primeros, es que su “factor de uso”, y con él la productividad de las inversiones, en muchas zonas y en el país en su conjunto, es superior al promedio mundial.

En el mundo se dispone de softwares cada vez más complejos y de baterías para neutralizar las intermitencias. En caso contrario se hace necesaria generación de respaldo que las compensen, más disponibilidad de almacenamiento y redes eléctricas acordes a los niveles de transmisión máxima que por diseño y seguridad del sistema de potencia deben contemplarse. La Argentina tiene potencial para seguir este camino en forma competitiva con otras naciones. El aspecto clave a estudiar es como elevar el factor de uso que maximiza la productividad de la potencia instalada y compensa en mayor o menor medida sus externalidades.

Las centrales hidroeléctricas con capacidad de embalse constituyen una de las soluciones más eficientes para compensar intermitencias de las renovables solar y eólica. Un despacho conjunto hidro, con otro eólico o solar, permite ofertar elevados porcentajes de energía firme sin emisiones y con mayor productividad que cada una de las dos tecnologías en forma independiente.

#### **5. Producción de bioenergía moderna.**

Partiendo de la opción de las SBN, no debemos dejar de contemplar a la bioenergía en sus distintas formas. Son alternativas que aún tienen costos altos por sus características de diversificación y necesidad de tratamientos específicos (tanto de la materia prima como de los subproductos). Pero si no se las tiene en cuenta no se estaría aprovechando adecuadamente la reducción de GEI que esta forma de energía podría aportar a la matriz energética argentina.

El aprovechamiento de la materia orgánica surgida de plantas, animales y residuos para la producción de bioenergía, con captura y secuestro de carbono (BECCS), permite el cierre del ciclo de carbono (CO<sub>2</sub>), reduciendo su

concentración en la atmósfera. Se debe tener en cuenta que algunas bioenergías pueden ser producidas en refinerías existentes, luego de un “revamping” que las haga aptas para ese nuevo uso. Se contribuiría a la reducción de las emisiones de GEI (como ejemplo, Biocombustibles para reemplazar el JP1 en la aviación).

## **6. Energía Nuclear.**

A partir del accidente de Fukushima, se han incrementado los requisitos de seguridad de las centrales nucleares, conduciendo a elevar los costos de construcción, instalación, puesta en marcha y disposición final del material radiactivo y del equipamiento e instalaciones contaminadas. Sin embargo, estos costos se compensan con una vida útil prolongada, por lo que su financiación con garantías adecuadas resulta una alternativa analizable.

La Argentina cuenta con una larga experiencia en centrales nucleares de potencia, (70 años de acervo científico y tecnológico y 50 de operación exitosa de centrales de potencia). Además, resulta estratégico el proyecto SMR CAREM, un reactor modular de baja potencia y la posibilidad que brinda de disponer en Argentina de una matriz energética con participación nuclear. Nuestro país ha exportado reactores de investigación y producción, compitiendo con las más prestigiosas firmas internacionales, a lo cual podría sumar la exportación del CAREM.

## **7. - Producción y Utilización de Hidrógeno.**

Otra de las alternativas para la producción de energía sin emisiones es el hidrógeno, como fuente energética y como vector de almacenamiento. La obtención del hidrógeno se logra por electrólisis del agua. Las que lo hacen con fuentes de energía eléctrica limpias, sin emisión, producen hidrógeno “verde”.

La producción de hidrógeno verde en la Argentina ha despertado interés en inversores privados del exterior debido a la abundancia de energía eólica “on shore”, de elevado factor de uso en la Patagonia argentina. Pero aún cabe resolver cuestiones relacionadas con su transporte y almacenamiento a costos razonables. tienen hasta hoy elevados costos de producción, operación y transporte. Sin embargo se están reduciendo por las significativas inversiones en investigación de grandes empresas de energía y de universidades.

La producción de hidrógeno “azul” a partir de gas natural con captura y secuestro de carbono podría darse en Argentina por la competitividad y la disponibilidad mayores volúmenes de gas natural. Sin embargo, no tendría sentido producir hidrógeno a partir de gas natural y compensar simultáneamente con SBN las emisiones de CO<sub>2</sub> asignables a ese proceso. Representaría un costo adicional al de utilización del gas natural directamente en su uso final con la misma tecnología de absorción a partir de SBN, que es justamente el equivalente al costo de producir el hidrógeno.

Otra opción para la obtención de hidrógeno azul, podrían ser los métodos físico - químicos de CCS que surjan en el transcurso de esta transición y que compitan económicamente con las SBN.

## Institucionalidad del sector energético, coherente con los compromisos de descarbonización.

Las transformaciones tecnológicas, legales e institucionales que derivarán de esta transición, requerirán una reforma de los Marcos Regulatorios del Gas natural y de la Energía Eléctrica, que respondan a los desafíos de las nuevas tecnologías y permitan corregir errores regulatorios introducidos en las últimas dos décadas.

Ello lleva a un delicado balance en el diseño de la regulación. Debe asegurar el abastecimiento del suministro eléctrico, el cumplimiento estricto y progresivo de los objetivos de descarbonización, y un costo competitivo de cada una de las alternativas tarifarias, —incluyendo impuestos—, que deberán enfrentar los usuarios. Además, debe dar señales que canalicen la inversión hacia los cuellos de botella del sistema actual o de los previstos a futuro, con el objetivo de que la sociedad pague el menor costo de ENS (energía no suministrada). El mejor ejemplo a considerar es quizás la regulación de Chile, —la Ley Corta—, que eliminó problemas similares a los existentes hoy en Argentina desde su sanción en 2005.

Las Instituciones y en especial la última de ellas que contempla el aspecto ambiental—, son claves para hacer eficiente el marco regulatorio que deberá regir hasta 2050. Será un período en el cual gran parte de las actividades que consumen energía habrán sido electrificadas.

## Desarrollo de infraestructura adicional al Gas NC y la generación, transmisión y distribución.

Tanto las nuevas fuentes de generación como las crecientes demandas de energía eléctrica originadas en la electromovilidad, la calefacción, la descarbonización y los procesos industriales, requerirán la modificación de sistemas eléctricos, transmisión y distribución. La electrificación masiva conducirá a un cambio tecnológico en la distribución, la cual podría pasar a ser mayoritariamente en media tensión y con complejos controles de la operación en tiempo real por IT, tanto del lado de la oferta, —que incluirá equipos de generación distribuida—, como del lado de la demanda.

## Calidad institucional y financiamiento.

El monto de las inversiones, sus largos períodos de recuperación en un sector capital intensivo<sup>1</sup>, hace imprescindible la estabilidad de las reglas de juego, tarifas razonables y la reducción del riesgo país. Debe haber previsibilidad para lograr el acceso a un costo de capital compatible con la rentabilidad. Ésta a su vez, dependerá de los precios de la energía eléctrica, Esto tiene importancia para el logro de la estabilidad del sistema en el tiempo, pero también la tiene para contribuir al financiamiento de la transición. Se estima que requerirá en el mundo inversiones globales totales hasta el año 2050, de entre 150 a 250 Billones de dólares.

Los cálculos para la Argentina permiten estimar que, a los precios de renovación actuales y con las tasas de incremento de la demanda asociadas a la electrificación de la movilidad y la industria, (10% anual) podrían ser necesarias inversiones equivalentes a 5 puntos del PBI anuales, —alrededor del 25% de la Inversión Bruta Interna de nuestro país en el año 2022. Es lo que requerirán las inversiones en renovación, expansión de la producción, transporte y distribución de gas y electricidad, y para la electrificación de las actividades. Todo ello neto de las reducciones obtenibles por incrementos de eficiencia energética.

Las inversiones pueden ser inferiores si se aprovechan inteligentemente las dos ventajas comparativas de la Argentina: la abundancia de gas y las soluciones basadas en la naturaleza para la captura y secuestro de CO<sub>2</sub>.

Existen ya algunos mecanismos de financiamiento en el mundo, que se están potenciando después de la COP 26. Nos referimos a los bonos verdes, los bonos de carbono, fondos que financian a privados con verificación de standards de carbono, mecanismos cooperativos de mitigación.