

Es necesario hacer las paces con el CO₂

Por: Moisés Dávila S*.

*Facultad de Ingeniería, UNAM

México, Junio 2021

RESUMEN

En este documento se expone que las emisiones de gases de efecto invernadero antropogénicas, causa principal del cambio climático, sobre todo las de bióxido de carbono se deben primordialmente al exceso de consumo de bienes y servicios. Parte de ese consumo exacerbado es consecuencia de la cantidad de seres humanos que ahora habitamos el planeta, pero principalmente porque a mayor consumo, más nos hacemos notar como personas “bien”, muchas veces importante para facilitarse accesos en la sociedad moderna. Se sugiere la necesidad de migrar de la Cultura del Carbono y de la economía basada en el uso del Carbono hacia una economía en donde el reciclado de éste no tenga que ser dañino, sino que por el contrario se pueda aprovechar su potencial para conservar un estilo de vida lo más semejante al actual. Propone también que los excesos de bióxido de carbono que no puedan ser integrados a dicha cadena productiva se almacenen de forma permanente de forma geológica dando por hecho que dichos excesos existirán solamente mientras las energías renovables pueden hacerse cargo de cubrir la totalidad de la demanda energética, es decir dando paso a una era energética de carácter transicional que aún puede tomar varias décadas.

INTRODUCCIÓN

Para muchas personas, sobre todo en el Hemisferio Norte, el objetivo de la vida es acumular posesiones. En USA, el mejor ejemplo posible: una familia promedio posee unos 300 mil artículos que van desde clips hasta un burro de planchar. Aunque los niños norteamericanos representan sólo el 3,7% de todos los niños del mundo, poseen el 47% de todos los juguetes y libros infantiles del planeta¹.

Por otra parte, es de destacar que absolutamente todos los artículos que hacen posible la satisfacción de las necesidades de los consumidores, que pueden ser varios cientos de miles, proceden de unos cuantos productos naturales: agua, aire, combustibles fósiles, minerales, productos de los bosques y animales. Igualmente, casi todos los productos químicos que constituyen una fase intermedia en las cadenas de producción y consumo de todos nuestros satisfactores, se componen sólo de combustibles fósiles, minerales, agua y aire. Para ser más precisos debemos saber que la industria química en su conjunto se abastece de unas cuarenta mil sustancias provenientes del petróleo, el gas natural o la biomasa². Basta mirar a nuestro alrededor y será difícil encontrar algún producto que no provenga de ellos. Incluso muchos artículos fundamentales en nuestra vida, como los medicamentos. Es necesario dejar de ver al CO₂ como un enemigo obligado. Por el contrario, necesitamos convencernos de que el bióxido de carbono puede ser constantemente reciclado para producir productos de valor agregado. El carbono y el oxígeno sus dos componentes, son elementos fundamentales para la vida en el planeta y son la diferencia entre la vida y la ausencia de ésta. Su combinación se da por múltiples procesos orgánicos e inorgánicos e irremediablemente perdurará mientras La Tierra exista. El problema es que el ser humano involuntaria y desapercibidamente, comenzó a construir su economía con procesos que lo producen y emiten a la atmósfera en una cantidad tal, que ahora es la causa principal de un fenómeno que ciertamente no es inédito en el planeta, un aumento de la temperatura en la atmósfera y los océanos que ocasiona cambios en los ecosistemas que amenaza la viabilidad de la vida. Al proceso en su conjunto se le ha nombrado Cambio Climático.

¹ *For Many People Gathering possessions is the stuff of life.* Los Angeles Times. <https://www.latimes.com/health/la-xpm-2014-mar-21-la-he-keeping-stuff-20140322-story.html>

² A case for CO₂-sourced sustainable synthetic fuels. Advanced Science News. 2017. https://advancedsciencenews.com/a_case_for_co2_sourced_sustainable_synthetic_fuels

ARGUMENTACIÓN

Se acepta que el exceso de anhídrido carbónico, bióxido o dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera no ha sido un consenso automático entre la comunidad científica. Ha habido desde que se comenzó a hablar del tema, quienes se han pronunciado en el rechazo del origen en causas antropogénicas. Y en cierta medida, su argumento tiene como base el que a lo largo de la historia de la Tierra ha habido cambios similares con resultados igualmente devastadores. La diferencia es que esta vez, el incremento de CO₂ en la atmósfera y el de temperatura en ciertas capas de ésta y los océano, han sido tan súbitos como no se había suscitado antes.

De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía, los consumidores³ emitimos 31.5 miles de millones de toneladas de CO₂ a la atmósfera cada año (31.5 GtCO₂/año)⁴. La pandemia de COVID19 atenuó un poco el incremento anual en 2020 pero desafortunadamente, sigue propiciando una concentración muy elevada de CO₂ en la atmósfera que actualmente se estima en 400 Mt o como nos lo explicaban en la escuela primaria décadas atrás, al decirnos cuáles eran los gases que componían el aire que respirábamos, 400 ppm. Todavía en la década de los años ochenta los libros referían que la cuenta en partes por millón de CO₂ en la atmósfera era de 280 ppm. Es claro que los sistemas naturales (bosques, selvas y océanos) no están siendo suficientes para procesar el CO₂ al ritmo que emitimos los consumidores.

Según las revisiones al 2017 de las metas de los Acuerdos de París, de conseguirse los objetivos comprometidos incondicionalmente por los países participantes, se llegaría a un tercio de lo necesario de las metas de finales del siglo; sin embargo, considerando las metas condicionadas, no sólo se podría logra la meta sino incluso duplicarla⁵. Luego entonces es posible lograr evitar la sexta extinción masiva que traería consigo el clímax

³ He decidido utilizar en este artículo el término 'consumidores' a los que en otro tiempo hubiera denominado personas, ciudadanos o simplemente sociedad. Pero esta vez requiero enfatizar el papel crítico que jugamos todos en el fenómeno del cambio climático y que dicha participación está en relación directa con el nivel de consumo que tenemos.

⁴ *Global Energy Review 2021. International Energy Agency.* <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021/co2-emissions>

⁵ *Emissions Gap Report 2017. UN Environment Programme.* <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2017#:~:text=The%20UN%20Environment%20Emissions%20Gap,foundation%20of%20the%20Paris%20Agreement.>

del cambio climático, pero se necesita un esfuerzo serio y conjunto⁶. Desafortunadamente en muchos países como el nuestro, lleno de consumidores mal informados, la Cultura del Carbono ni siquiera es del dominio común y en el mejor de los casos, creemos que es tarea del gobierno trabajar para mitigar los efectos del Cambio Climático. Si bien es cierto que los gobiernos juegan un papel crucial en el tema, sobre todo en educarnos e informarnos, nos corresponde a todos una parte del trabajo esencial, consumir menos y más inteligentemente.

Es necesario que los consumidores entendamos el concepto de Descarbonización, de lo que significa estar inmersos en una Cultura del Carbono y que debemos encontrar la forma de disociar el nivel de vida que nos damos en términos de la importancia que hasta ahora hemos dado a la comodidad, el tipo y cantidad de satisfactores que nos hemos allegado y la relación que éstos guardan con la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Hemos dicho que el nivel de emisiones de una sociedad depende de su nivel de consumo. Así, hay sociedades como es el caso de USA y Canadá que emite del orden de 14,5 tCO₂/persona al año, o algunos aparentemente no tan graves como el caso de México, emiten al año 3,6 tCO₂/persona⁷. Este último número es promedio y desde luego que en nuestro país hay consumidores que emiten CO₂ con el mismo ritmo que en USA o Canadá pues su nivel de vida y por lo tanto, acceso a bienes y servicios es igual a los países vecinos del norte, o incluso superior. Esto porque hay emisiones indirectas que no se pueden abonar a la cuenta de cada consumidor. Un ejemplo claro es que culpamos a China por tener un nivel de emisiones escandaloso de 9258 GtCO₂/año como país lo que corresponde a 6,5 tCO₂/persona al año, sin considerar que ese país exporta artículos a todo el mundo por lo que parte de sus emisiones deberían ser contabilizadas entre los consumidores fuera de ese país. ¿Quién podría negar que posee artículos o componentes de procedencia china?

Otra tentación engañosa con la que los consumidores, al menos los conscientes, solemos acallar las culpas, es argumentando que el cambio climático -dígase emisiones

⁶ La geología de La Tierra a lo largo de sus 4500 millones de años ha sufrido antes cinco extinciones masivas. La última es la que se refiere a la extinción de los dinosaurios y que marcó el fin de la Era Mesozoica e inicio de la Cenozoica.

⁷ <https://es.ucsusa.org/recursos/emisiones-de-co2-por-pais>

de GEI antropogénicas-, son en mucho debidas a la cabalgante explosión demográfica, lo que en parte tiene sentido. Sin embargo, se ha demostrado que un control estricto de la natalidad colaboraría solamente con un porcentaje bajo de disminución de emisiones; 16% en un escenario bajo y 29% en uno alto. Esto debido a que los países con sociedades con pobre control de natalidad son también las sociedades menos consumidoras y por lo tanto de menores emisiones de GEI⁸.

Es común pensar que el CO₂ que se produce en el mundo y que corresponde en un 35% a las emisiones de GEI provienen de la quema de combustibles fósiles para generar energía eléctrica, luego entonces la culpa es de los productores de energía eléctrica. Pero nunca “se nos ocurre pensar” que la producción de energía eléctrica es destinada a proveer a la industria, el campo y al sector residencial y que los consumidores de todos estos sectores somos todos. En el mejor de los casos, racionalizamos el consumo de electricidad, pero en el peor y más frecuente, culpamos a los gobiernos por no transitar hacia fuentes más limpias para abastecer la demanda eléctrica. En este caso, la verdadera culpa de gobierno radica, no en el esfuerzo insuficiente para transitar hacia medios de producción eléctrica más amigable con el ambiente, sino en conceder subsidios interminables al consumo, fomentando su despilfarro.

Aún así, lentamente, más lentamente de lo deseable, el desarrollo de las fuentes energéticas de origen limpio y/o renovable, van en crecimiento. Se espera que de ahora al 2035 su crecimiento se incremente del 7 al 10% y de ahí en adelante se acelere hasta permitir que algunos países se vuelvan neutrales en carbono para mediados de siglo, ojalá y suceda. Por otra parte, hacer que incluso al 2035 podamos prescindir del todo de los combustibles fósiles es poco probable. Pero esa realidad no tiene que ser dolorosa necesariamente. Existen tecnologías que pueden permitir una transición benéfica, de aquí a que aprendamos a vivir en una cultura que no dependa del carbono y que paulatinamente aprendamos a sacar provecho de sus emisiones mientras que éstas, por una razón u otra sigan existiendo.

⁸ Population dynamics and climate change: what are the links? Stephenson, J., Newman, K. & Mayhew, S. Journal of Public Health Oxford, 2010. <https://academic.oup.com/jpubhealth/article/32/2/150/1610588>

PROPUESTA

Es claro que el CO₂ es un compuesto que gestionado como lo hemos hecho hasta ahora nos está llevando a un callejón sin salida. Pero también es cierto que los esfuerzos realizados hasta ahora para evitar su producción al menos radicalmente, es imposible. Es necesario cambiar la forma de ver el problema. El problema real, radica en que se necesita de la participación de toda la sociedad en su conjunto, no en el CO₂ en sí. Debemos de transitar de la Cultura de Carbono o de la Economía del Carbono hacia la Economía Circular del Carbono. El concepto es básicamente que las emisiones de CO₂ que produce la industria de procesos y artículos cotidianos, se reciclen para producir insumos que se integren a la industria nuevamente y ésta los use para producir los artículos y servicios que demandamos dando lugar a un círculo virtuoso interminable. El excedente deberá capturarse y almacenarse en formas naturales. Esta última parte sería solamente transicional, en tanto se encuentra la manera de que las energías renovables toman la demanda total de energía, incluida la parte que se refiere a su almacenamiento para paliar el problema de la intermitencia que las limita críticamente en la actualidad.

Necesitamos dejar de considerar al CO₂ como útil solamente en procesos evidentes como la fabricación de bebidas gaseosas, hielo seco, fluido quirúrgico, atmósfera reactiva para soldadura, producción de bicarbonato de sodio⁹, cápsulas para armas recreativas, extinguidor en ciertos tipos de fuego, removedor de cafeína en la producción de café, procesado de polímeros, material de construcción¹⁰, etc. etc., sino que debemos entender que el bióxido de carbono puede ofrecer el carbono necesario para producir monóxido de carbono (CO), metanol (CH₃OH)¹¹ y amoníaco (NH₃)¹², que son insumos básicos para producir miles de otros productos que finalmente van a parar a todo cuanto conforma nuestra vida diaria.

⁹ Primera planta en México que utilizará el CO₂ de su central de cogeneración en Altamira, Tamps.

<https://www.prnewswire.com/news-releases/contourglobal--alpek-to-capture-and-utilize-co2-from-contours-420-mw-chp-serving-alpek-301257359.html>

¹⁰ CEMEX anunció recientemente su plan para hacerse carbón-neutro para 2050 en sus instalaciones en Alemania. <https://www.cwgrp.com/cemweeknews/environment/534615-cemex-creates-alliance-to-reach-carbon-neutrality-in-its-german-plant>

¹¹ CH₃OH componente básico en la farmacéutica, como combustible, solventes y anticongelantes

¹² NH₃ componente básico en la industria de los alimentos, fertilizantes y farmacéutica

De esas pocas materias primas esenciales de la vida moderna, destaca la participación preponderante de los combustibles fósiles, causa fundamental de las emisiones antropogénicas de CO₂. Por esa razón se dice que nuestra economía, es una economía basada en el carbono de la que está siendo difícil escapar. Independientemente de que los recursos renovables nos permitan paulatinamente ir dejando de quemar combustibles fósiles para abastecer nuestras necesidades de energía, que como ya se ha dicho, son proporcionales al nivel de vida de los consumidores, los combustibles fósiles, específicamente los hidrocarburos, son materia prima de la mayoría de los artículos que usamos día a día.

Por una parte, es posible almacenar geológicamente el bióxido de carbono que ahora emitimos a la atmósfera de una forma segura, si bien con costos elevados por el momento. Sin embargo, debajo de nuestro suelo hay hidrocarburos para varias décadas y carbón mineral en una cantidad tal, que se podría utilizar como combustible, como hasta ahora, un par de siglos al menos. La tecnología bien asimilada de su uso como base de la economía del carbono tiene costos tan accesibles que difícilmente permitirán que salgan del escenario de un momento para otro. Por otra parte, algunos problemas técnicos que aún enfrentan las energías renovables apoyan esta aseveración. La intermitencia es una de ellas y mientras el almacenamiento masivo de energía se vuelve una realidad comercialmente asequible a gran escala, deberán navegar contracorriente, al menos para abastecer la carga base. De manera que la Captura, Uso y Almacenamiento de CO₂ (CCUS, por sus siglas en inglés) es una opción algo forzada de momento, pero disponible y plenamente demostrada para salvar esta fase transicional de la Cultura de Carbono a una libre de éste, al menos con los combustibles fósiles como fuente de energía.

Se mencionó ya que el costo de la tecnología CCUS es alto. Lo que se debe a la alta inversión energética que demanda la separación del CO₂ del resto de los gases exhaustos de la combustión por un lado y al almacenamiento geológico, incluido su monitoreo, para asegurar su confinamiento seguro por décadas o tal vez por siglos, por otro. Aunque se debe aclarar que dicha temporalidad también es relativa y finita pues se

estima que asegurar por diez mil años geológicamente secuestrado en CO₂ es posible para el 98% del volumen retenido en reservorios bien gestionados y de sólo el 78% en aquellos que son pobremente gestionados¹³. La parte de captura en particular puede ser salvada cuando se cuenta con fuentes ricas en CO₂ como suelen ser las plantas de producción de amoniaco, en donde el bióxido de carbono es de casi 90% de pureza. Pero desde luego hay otras muchas fuentes en donde el CO₂ constituye partes importantes de flujo de gases exhaustos, pero no a ese grado. De acuerdo con las leyes de la termodinámica, entre mayor sea el contenido de CO₂ en la mezcla de gases, menor será su demanda energética para separarlo¹⁴. De las múltiples tecnologías disponibles para separar el CO₂ y ponerlo a punto para almacenarlo o utilizarlo, hasta ahora la forma más socorrida es la de postcombustión, por medio de aminas. En términos generales, se refiere a separar el CO₂ del resto de los gases de combustión por medio de compuestos altamente alcalinos de base amina, aprovechando la afinidad de estos compuestos con el CO₂. Esto se hace en lo que se llama torre de captura, que no es más que un tubo de decenas de metros de altura en donde el CO₂ se hace pasar contra corriente a la solución de amina. Posteriormente, se separa el bióxido de carbono de la amina en una segunda torre, lo cual debe pagar un costo energético importante sobre todo por las temperaturas a las que hay que llevar el proceso, pero que permite que la amina limpia pueda seguir haciendo su papel por varios ciclos más.

La implementación de proyectos de CCUS es aún cuesta arriba, actualmente hay 65 plantas en diferentes etapas de desarrollo, desde diseño, hasta construcción y operación según el Global CCS Institute¹⁵. Pero según la Agencia Internacional de Energía³ se requerirá incrementar este número hasta dos mil instalaciones para lograr las metas del siglo. Desde luego, para que esto sea posible habría que implementar incentivos que justifiquen los costos altos de su implementación al que me he referido, entre otros, el

¹³ Estimating geological CO₂ storage security to deliver on climate mitigation. Nature Communications, 2018. Juan Alcalde, Stephanie Flude, Mark Wilkinson, Gareth Johnson, Katriona Edlmann, Clare E. Bond, Vivian Scott, Stuart M. V. Gilfillan, Xènia Ogaya & R. Stuart Haszeldine. <https://www.nature.com/articles/s41467-018-04423-1.pdf>

¹⁴ Worldwide innovations in the development of carbon capture technologies and the utilization of CO₂. Energy and Environmental Science. Peter Markewitz, Wilhelm Kuckshinrichs, Walter Leitner, Jochen Linssen, Petra Zapp, Richard Bongartz, Andrea Schreiberand Thomas E. Müller. 2012. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2012/ee/c2ee03403d#!divAbstract>

¹⁵ <https://www.globalccsinstitute.com/resources/global-status-report/>

impuesto importante al carbono y costos atractivos de su comercialización que según el GCCSI deberá oscilar entre 60 y 120 USD para el 2030¹⁶. Destaca al menos para la fase de despegue de los proyectos a gran escala los asociados a su aprovechamiento en operaciones de Recuperación Mejorada de Hidrocarburos (EOR), que ofrecen el retorno de la inversión por las operaciones de captura del CO₂ útil al proceso. De los veinte mayores proyectos actuales de CCUS, trece de ellos están asociados a la mencionada Recuperación Mejorada de Hidrocarburos. El CCUS asociado a esa recuperación mejorada, sin embargo, es visto por muchas organizaciones ambientalistas como pretexto para justificar la industria de los combustibles fósiles y seguir sobreviviendo, postergando más el dominio absoluto de las renovables. Sin embargo, aunque la opción de CCUS no se asociara a un incentivo económico en el EOR, ésta seguiría existiendo como fuente de carbono como materia prima para la industria, y mientras los impuestos al carbono antropogénico no constituyan un verdadero freno para su emisión. Una prueba de esto último es que incluso el CO₂ de origen natural seguirá usándose, tal como sucede en las operaciones de EOR con CO₂ en Texas. Por ahora, es necesario aceptar que el CCUS debe verse como una medida transicional y suplementaria, de ninguna manera sustituta o alternativa a las energías renovables al menos por el resto del siglo. Nos parezca bien o no, los combustibles fósiles seguirán usándose intensivamente y sólo declinarán de manera importante hasta después del 2050.

Los insumos que inundan casi todo ámbito de consumo de la sociedad actual no pueden desaparecer de inmediato teniendo como materia prima básica los hidrocarburos. Una opción es producirlos del carbono del CO₂ y del hidrógeno. Sin embargo, un problema que aún hay que resolver y que se traduce finalmente en costo, es la fortaleza del enlace químico de tipo covalente del carbono del oxígeno para poner disponible el primero para su posterior uso. La buena noticia es que cada molécula de CO₂ evitada o tomada de la atmósfera, es una molécula menos del problema del calentamiento global. Por su parte, el hidrógeno, la otra parte básica de la molécula orgánica sintética, tiene más de una forma de obtenerse, si bien, todas ellas caras. Su rentabilidad es sólo materia de tiempo.

¹⁶ Opportunities in CCS: Finding Government Funding and Business Partners. GCCSI Talks. March 23rd, 2021

La tecnología hará posible su obtención más temprano que tarde. Después de todo el hidrógeno es la materia más abundante en el universo y la primera forma de energía en éste.

Otra forma de almacenamiento CCUS, ya sea que el carbono capturado sea utilizado o almacenado, tiene una versión doblemente útil en la versión BECCUS, en donde las siglas BE provienen de BioEnergía, es decir del bióxido de carbono desprendido de quemar biocombustibles o biomasa simplemente. Valga aclarar que esta combinación no es una solución para quienes sostienen que quemar biomasa o biocombustibles emite de cualquier manera carbono a la atmósfera, contrario a quienes miran esta opción como aporte a las emisiones cero-netas. Los defensores del uso de biocombustibles y biomasa tienen en su favor que el uso de estos como combustibles reducirá las emisiones de CO₂ en un plazo de entre 44 y 104 años para retorno del carbono al sumidero terrestre. En contraparte, sus detractores señalan que el cambio climático contra reloj no nos permite tales márgenes de tiempo tan grandes¹⁷. Sea que tengan razón unos u otros en la asociación BE-CCUS se captura y dispone finalmente del CO₂ al menos, como ya hemos dicho, transicionalmente en tanto encontramos una forma de minimizar sus emisiones como principal agente antropogénico del Cambio Climático.

Por su parte, el hidrógeno es un elemento esencial en la química de las sociedades humanas. Anualmente se producen de 50 a 60 Mt en donde aproximadamente la mitad se dedica a la producción de amoníaco el que a su vez se usa mayormente para la producción de fertilizantes, sustancias vitales para conservar la producción alimentaria cada vez mayor de la humanidad.

El reformado de metano es un proceso dominado desde hace mucho tiempo. Se refiere a un proceso químico industrial para la obtención de un gas de síntesis compuesto de hidrógeno y monóxido de carbono a partir de hidrocarburos, gas natural (metano y

¹⁷ Does replacing coal with wood lower co2 emissions? Dynamic lifecycle analysis of wood bioenergy. Environmental Research Letters, 2018. John D Sterman, Lori Siegel and Juliette N Rooney-Varga . <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aaa512/pdf>

dióxido de carbono básicamente) y agua. Su limitante actual es la gran cantidad de energía que se requiere para alcanzar temperaturas muy elevadas. A esta forma de obtención de hidrógeno se le denomina hidrógeno azul. La mitad del hidrógeno producido en el mundo procede de este proceso, el restante 50% proviene del hidrógeno gris que en lugar de metano, utiliza carbón, de ahí su nombre.

Otra forma de producción de hidrógeno es a través del proceso llamado hidrógeno verde. Éste es, sólo el 4% del hidrógeno producido por el hombre mediante electrólisis por medio del cual se disocian los átomos de ese elemento de los de oxígeno, lo cual se logra a través de aplicación de energía, lo que de nueva cuenta le confiere un costo elevado. En el caso del hidrógeno producido por hidrólisis, su costo cuadruplica el de las otras formas, de ahí su bajo porcentaje de participación.

Todas las formas de producción de hidrógeno deben ser abordadas resolviendo el problema de costo por el alto consumo energético sin abastecer éste con electricidad de la red ni hidrocarburos, sino con sistemas de energía renovable de aplicación dedicada, en donde su intermitencia no sea un inconveniente, pues se puede planear el funcionamiento de los procesos de producción en horarios en que el recurso está disponible. De esta manera la intermitencia no tendría que ser un problema como hasta ahora lo es para abastecer electricidad a usuarios conectados a las redes ya sea interconectadas o distribuidas.

Incluso, aún y cuando la totalidad de la provisión de energía provenga de fuentes renovables, habrá siempre una componente de emisiones de GEI, si bien no tan alta como en la actualidad. Es decir, después de que se abata la tendencia creciente de emisión de GEI a la atmósfera y que el problema de cambio climático sea un problema superado, seguiremos emitiendo algunos GEI como el CO₂ y el CH₄ al menos, pues son productos básicos de la química básica de los seres vivos y sus procesos biológicos, industriales y agropecuarios. Por ejemplo, por ahora el rango más alto de emisión de industria fija de CO₂ es la producción de electricidad con carbón. Para el caso de México, ésta es del orden de 1 kg de CO₂ por kWh generado en sus plantas carboeléctricas

(mientras que en Australia es de 1060 g/kWh). En un escenario de uso intensivo de energías renovables, la intensidad de carbono se abatiría, mas no se eliminaría a cero, por ejemplo, en la producción de electricidad proveniente de la geotermia en Islandia, ronda los 60 g/kWh¹⁸. Por esta razón es que se sostiene que aún en el apogeo de las renovables habrá siempre una componente de emisiones de GEI, pero que debidamente capturadas y posteriormente, almacenadas o transformadas en materia prima, pueden convivir perfectamente con la vida en el planeta.

JUSTIFICACIÓN

La Era Transicional de almacenamiento de CO₂ nos tomará varias décadas. Durante dicha transición, deberemos adoptar con mente abierta métodos que hagan posible el cambio de cultura y economía basadas en el carbono, pasando a la Economía Circular del Carbono que garantice el minimizar las emisiones de éste a la atmósfera. Recordemos que la revolución industrial se gestó en Europa de mediados del siglo XVIII a mediados del siglo XIX. Tomó casi cien años transitar de la fuerza basada en esclavos y bestias a máquinas; éstas muy básicas de bajo rendimiento energético al principio, a unas mucho más refinadas; al inicio dependientes exclusivamente del carbón y posteriormente de los hidrocarburos. En nuestro caso, desde luego que no podemos darnos el lujo de esperar un siglo para abandonar del todo la Cultura del Carbono, pero tampoco podemos hacer que sea una realidad el siguiente año. La estrategia debe integrar al menos una componente de tecnologías transicionales como es el almacenamiento geológico de CO₂ encontrando una forma de salvar su principal inconveniente, su costo elevado.

En este punto es necesario aclarar la diferencia que existe entre los procesos de Remoción de CO₂ de los de Captura de CO₂ y Almacenamiento de CO₂. La remoción de bióxido de carbono se refiere al retiro de este compuesto directamente de la atmósfera¹⁹. Se estima que, aunque esta forma de mitigación del cambio climático aporta volúmenes

¹⁸ How bad are bananas? The Carbon Footprint of Everything. Berners-Lee, M. Graystone Books, 2010.

¹⁹ Global warming of 1.5°C. Intergovernmental panel of climate change.

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_Chapter1_Low_Res.pdf

de remoción todavía marginales, pronto se puede compensar tal deficiencia a través de potencializar la implementación masiva de dispositivos. Por su parte la Captura de CO₂ se refiere al proceso industrial mediante el cual se separa el CO₂ de otros gases de combustión hasta enriquecerlo a un grado tal que sea posible, almacenarlo en el subsuelo o utilizarlo como insumo de otros procesos. La captura a diferencia de la remoción se lleva a cabo en la industria fija y ANTES de ser emitido a la atmósfera. Finalmente, el almacenamiento de CO₂ se refiere al confinamiento permanente del CO₂. Hasta ahora se ha demostrado tanto técnica como económicamente el proceso a escala industrial, cuando se almacena el CO₂ en reservorios geológicos, o sea grandes formaciones geológicas profundas con espacio poroso disponible para retener cantidades del orden de miles de millones de toneladas de CO₂ permanentemente. Una forma adicional que se ha postulado para almacenar CO₂ permanentemente es en el fondo profundo de los océanos; no obstante, no existen casos de éxito demostrados fuera del laboratorio debido al riesgo latente de afectación a la vida marina.

La componente de conversión de CO₂ en materia prima ni siquiera tiene ese inconveniente y no habría tampoco prisa por desincorporarla de nuestros procesos, su inocuidad bien le permitiría convivir por mucho más tiempo en tanto el consumidor migre sus preferencias hacia otros productos que no requieran de productos cuya química no integre el carbono, si es que esto fuera posible. Hay procesos en que incluso es imposible eliminar de nuestra lista de procesos que requieren de insumos orgánicos de origen en los hidrocarburos, como el caso de la producción de fertilizantes. Y aunque sabemos, éstos también son sustancias tóxicas a los sistemas acuáticos, sobre todo porque producen una eutroficación importante. La verdad es que el ritmo de producción de alimentos incentivando las tierras de cultivo para que rindan suficientes alimentos para el número desbordado de consumidores, no sería posible sin fertilizantes. Cualquiera que sea el caso, este cambio de paradigma debe acompañar a otro que algunos autores comienzan a abordar con el término geoingeniería²⁰, que propugna por realizar

²⁰ Deutch, J. Decoupling economic growth and carbon emissions.
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2542435117300363?token=DC4385879CCA0928021173BEF18AF28449CD2565DA6F09499D7B691409A55652BF96EE35D7424DAB023C2C22B7FFB50A&originRegion=us-east-1&originCreation=20210523173958>

intervenciones directas a la atmósfera para modificar su química y la forma en que la radiación solar ingresa al globo o sale de éste. Esto ante un eventual fracaso de los mecanismos graduales y conciliadores como los que se han propuesto hasta ahora, a través de acuerdos y convenciones globales.

CONCLUSIÓN

Como todas las cosas en la civilización, lo más sencillo es lo más difícil de implementar. La solución más económica y sencilla de abordar para abatir el cambio climático es disminuir el nivel de consumo del ser humano. Pero ¿qué circunstancia tendría que enfrentar la humanidad para convencerla de que es necesario “sacrificar” un poco de su nivel de vida? El cambio climático acelerado es producto de la emisión antropogénica de GEI y éstos son proporcionales a la producción de satisfactores de la sociedad.

Deberíamos encontrar la forma de integrar el bióxido de carbono a los procesos que ahora nos son proporcionados de los hidrocarburos. De esa forma daremos lugar a una Economía Circular de Carbono. Hay sustancias químicas vitales que de inmediato se podrían beneficiar si se integrara el CO₂ como materia prima, tal es el caso de los fertilizantes, los medicamentos y miles de artículos de plástico, por nombrar sólo algunos, pero que pueden ser tantos como todo el mundo que nos rodea y que ahora surgen de la petroquímica.

El CCUS no es de ninguna manera barato, pero sí lo es si lo comparamos contra el costo ambiental de emitir CO₂ a la atmósfera y propiciar un cambio climático en un grado de no retorno. Pero más aún, si solamente almacenamos el CO₂ que no podemos, una vez capturado, integrar a la producción de los artículos que ya hemos mencionado, al menos mientras encontramos la forma de que las energías renovables y el hidrógeno se hacen cargo de abastecer toda la demanda energética.

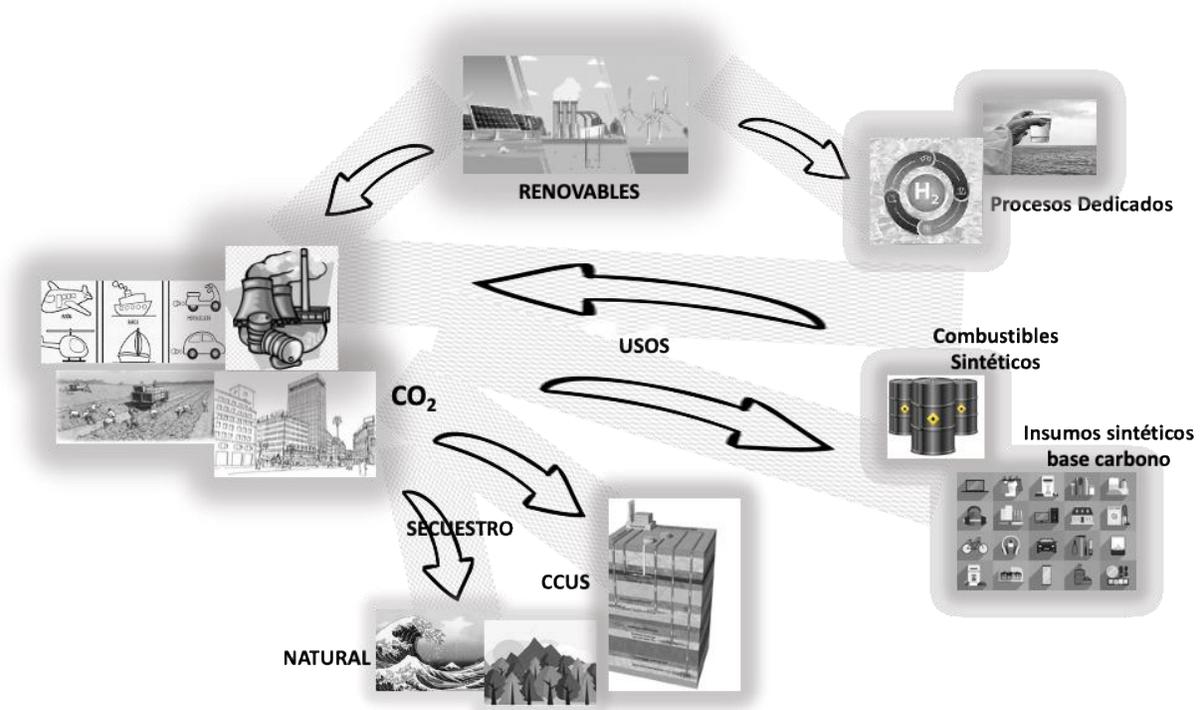
Las energías renovables deberían de ser potencializadas en procesos dedicados, fuera de las redes eléctricas para que la intermitencia no sea un problema mayor, al menos mientras encontramos la forma de almacenar grandes cantidades de energía que por el

momento no es posible con la tecnología disponible basada en baterías. Esos procesos pueden ser tan fundamentales como la desalinización de agua y la producción de hidrógeno, por ejemplo.

Es necesario implementar en masa, formas de almacenamiento de energía diferente a la química, como la cinética y algunas otras. Los proyectos hidráulicos de rebombeo son una realidad desde hace décadas y ahora se justificarían más si se les asocia con proyectos de energía renovable de propósito dedicado.

Ronda en la ironía, que estamos valorando la posibilidad de algún día habitar Marte, cuya atmósfera está compuesta casi completamente de CO₂, sería muy racional que antes se invierta en mejores esfuerzos de componer el trato que damos a nuestra atmósfera en la que ésta aún pueda ser manejable²¹. Como hemos visto, de nosotros depende utilizar cada vez más el bióxido de carbono en fabricar los innumerables insumos que demanda la sociedad moderna y que ahora fabricamos de los hidrocarburos, el sobrante deberemos sepultarlo geológicamente haciendo que se integre al ciclo mineral del carbono que es natural en el planeta. Pero lo más importantes que debemos hacer es, que esta última fracción sea cada vez menor hasta hacerla nula y que hayamos aprendido a vivir disminuyendo nuestro consumo de todo lo que no sea vital. La figura que sigue trata de ilustrar una nueva cultura a la que debemos aspirar, la de la Economía Circular del Carbono.

²¹ El 95% de la atmosfera de Marte es CO₂. <http://cab.inta-csic.es/remes/es/atmosfera-de-marte/#:~:text=Sin%20embargo%2C%20tanto%20en%20el,los%20de%20el%205%25%20restante.>



Esquema simplificado del Concepto de Economía Circular del Carbono